МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИННОВАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГОРНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИКИ: IPDME-2019

Международный семинар, посвященный 100-летию создания первого в России горно-электромеханического факультета

24 апреля 2019 г.

Сборник тезисов
Секция «Круглый стол молодых ученых»

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2019

УДК 656; 621
ББК 39:34-08:3,2

В сборнике представлены в авторской редакции статьи и тезисы докладов участников Международного семинара, посвященного 100-летию создания первого в России горно-электромеханического факультета «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2019».

В сборник включены материалы научных исследований молодых ученых и студентов в горной, транспортной и машиностроительной областях, материаловедении и энергообеспечении.

© «Санкт-Петербургский горный университет», 2019

УДК 622.236.22

УНИФИЦИРОВАННЫЕ РОБОТИЗИРОВАННЫЕ ВЫЕМОЧНЫЕ МОДУЛИ ИЗБИРАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ДОБЫЧИ ПЛАСТОВЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Абрамов Иван Александрович,
группа ГМ-14,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. В статье анализируются способы добычи угля современными выемочными машинами. Рассматривается возможность применения избирательных способов отделения угля от массива. Предложено техническое решение − унифицированный выемочный модуль для избирательной и селективной обработки забоя.

Ключевые слова: уголь; избирательность; селективность; добыча; добычной комбайн; модуль

STANDARDIZED ROBOTIC EXCAVATION MODULES SELECTIVE FOR THE EXTRACTION OF BEDDED MINERALS

Abramov Ivan Aleksandrovich,
group GM-14,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. The article analyzes the methods of coal mining by modern mining machines. The possibility of application of selective methods of coal separation from the massif is considered. A technical solution is proposed − a unified excavation module for selective processing of the face.

Keywords: coal; selective mining; extraction; mining combine; module

В настоящее время эффективная добыча угля подземным способом ведется преимущественно при отработке так называемых высокотехнологичных угольных пластов в длинных очистных забоях комбайновыми и струговыми очистными механизированными комплексами. В менее благоприятных горно-геологических условиях, при отработке структурно сложных пластов, участков ограниченных размеров, интенсивность и устойчивость технологического процесса в комплексно-механизированных очистных забоях существенно снижаются [1-4].

Все современные выемочные и проходческие комбайны и струги не обладают в полной мере свойством избирательности обработки забоя,

адаптации параметров срезов и режимов резания (изменения скорости, толщины, направления среза, а также вида активных сил) к изменяющимся условиям и зонной структуре пластов по их физико-механическим свойствам [5, 6].

Переход к избирательным способам отделения угля от массива может быть осуществлен при использовании очистных механизированных комплексов новых структур и возможностей, в частности, комплексов фронтальных модульного исполнения (КФМ) [7, 8]. Выемочной машиной в КФМ являются унифицированные выемочные модули (УВМ). Они предназначены для фронтальной отработки пластов избирательными способами как длинными, так и короткими забоями, которые могут оснащаться исполнительными органами статического, динамического или комбинированного действия [7-10]. Особенностью этих агрегатов является размещение УВМ на каждой секции механизированной крепи, через секцию, или на специальной базе. Такие модули могут осуществлять отделение угля от массива с толщинами среза от 80 мм до 300 мм [7]. Опора на секции механизированной крепи и использование гидропривода обеспечивают устойчивость режимов работы УВМ при передаче значительных по величине сил скалывания (в случае присечки породы). При этом стопорные режимы работы не являются для них аварийными.

Избирательность и селективность являются основными особенностями технологии работы очистных механизированных комплексов ближайшего будущего, способных существенно повысить эффективность подземной добычи угля.

Из унифицированных выемочных модулей с программным управлением могут формироваться добычные роботизированные комплексы четырех основных направлений [7]:

– для добычи угля с отработкой пластов длинными забоями с высокой концентрацией очистных работ;

– для камерной технологии добычи полезных ископаемых;

– для отработки целиков и забалансовых запасов, которые в настоящее время являются не извлекаемыми;

– специального назначения.

Модули специального назначения могут быть:

– для проходки монтажных камер;

– для подготовки зарубных ниш в составе комбайновых комплексов;

– для прохождения нарушений в залегании пласта.

Предлагается техническое решение − унифицированный выемочный модуль для избирательной и селективной обработки забоя. УВМ состоит из следующих элементов: опорной базы в виде секции механизированной крепи, поворотной турели, манипулятора, конвейероструга, поворотного устройства, козырька со скалывателем и быстро съемного исполнительного органа статического или статико-динамического действия, в зависимости от крепости разрушаемого массива.

Способ отделения угля от массива фронтальный с одновременной

отработкой лавы параллельными заходками [11]. Модуль разрушает массив локального забоя избирательными сколами по плоскостям, разделяющим слои пласта, одновременно по всей ширине локального забоя в направлении подвигания фронта лавы. Последовательность сколов по мощности пласта определяется структурными свойствами пласта и требованиями минимальной энергоемкости разрушения массива за цикл, устойчивости технологического процесса и разрушения массива без выхода негабаритов. Верхняя часть пласта скалывается скалывающим козырьком, а нижняя подрезается конвейеростругом, регулируемым по границе «почва-пласт».

Аналитически выведены формулы для определения технической производительности выемочного модуля и фронтального модульного комплекса:

$$q_м = l_L \cdot l_p \cdot H \cdot \gamma / T_ц \; ;$$

$$Q = \frac{T \cdot \gamma \cdot S \cdot K_{sa}}{\dfrac{1}{h \cdot V_p} + \dfrac{1}{h \cdot V_x} + \dfrac{K_{cx}}{V_{кр} \cdot H_в} + \dfrac{2}{l_p \cdot V_x}\left(1 - \dfrac{h}{H_в}\right)},$$

где: l_L – длина локального забоя, м; l_p – длина скола, м; H – мощность пласта, м; $T_ц$ – время цикла, с; T – время работы выемочного модуля, с; γ – удельная плотность угля в массиве, $т/м^3$; S – площадь забоя, м^2; K_{sa} – коэффициент активной площади забоя; h – толщина среза, м; V_p – скорости движения резцовой коронки при осуществлении сколов, м/с; V_x – скорость движения резцовой коронки при позиционировании, м/с; K_{cx} – коэффициент, характеризующий схему передвижки секций крепи; $V_{кр}$ – скорость передвижки секции крепи, м/с; $H_в$ – часть мощности пласта, обрабатываемая исполнительным органом, м.

Область возможного использования: угольные и сланцевые шахты, калийные рудники и другие предприятия, разрабатывающие пластовые месторождения подземным способом.

Тема представленной работы соответствует тематике научно-исследовательских работ отраженных в [12-14].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Стебнев А.В.* Анализ работы очистных механизированных комплексов в условиях шахт АО «СУЭК-Кузбасс» / А.В. Стебнев, С.Г. Мухортиков, Д.А. Задков // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2017. Сборник научных трудов международной научно-практической конференции, 2017, С. 84-89.

2. *Stebnev A.V.* Analysis of operation of powered longwall systems in mines of SUEK-Kuzbass / A.V. Stebnev, D.A. Zadkov, V.V. Gabov, S.G. Mukhortikov // Eurasian mining, 2017. Vol. 2, С. 28-32.
3. *Бабырь Н.В.* Повышение адаптивности секции механизированной крепи к медленно изменяемому горному давлению / Н.В. Бабырь, Д.А. Задков // Сборник трудов XIV международной научно-технической конференции «Чтения памяти В.Р. Кубачека», 2016, С. 18-21.
4. *Задков Д.А.* Повышение устойчивости работы секции механизированной крепи / Д.А. Задков, Н.В. Бабырь // 12-я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики, 2016, Т 1, С. 265-267.
5. *Задков Д.А.* Актуальность и перспективность избирательных способов отделения угля от массива / Д.А. Задков, В.В. Габов, С.Г. Мухортиков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2018, Т. S48, С. 387-397.
6. *Габов В.В.* Повышение эффективности процесса добычи с освоением избирательных способов отделения угля от массива / В.В. Габов, Д.А. Задков, Ю.В. Лыков // Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, С. 12-15.
7. *Gabov V.V.* Energy-saving modular units for selective coal cutting / V.V. Gabov, D.A. Zadkov // Eurasian mining, 2016, Vol. 1, С. 37-40.
8. *Габов В.В.* Особенности метода выбора параметров исполнительного органа унифицированного модуля / В.В. Габов, Э.В. Кустриков, Д.А. Задков // Современные проблемы науки и образования, 2015, Т 1-2, С. 94.
9. *Кустриков Э.В.* Особенности конструкции и технологии работы унифицированного выемочного модуля для добычи калийной руды / Э.В. Кустриков, В.В. Габов, Д.А. Задков // Современные проблемы науки и образования, 2015, Т. 1-2, С. 95.
10. *Задков Д.А.* Основные особенности выбора параметров исполнительного органа унифицированного модуля для добычи калийной руды / Д.А. Задков, В.В. Габов, Э.В. Кустриков // Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов III международной научно-практической конференции, 2015, С. 11-15.
11. *Габов В.В.* Классификация способов отделения угля от массива выемочными модулями / В.В. Габов, В.Ф. Тужиков, Д.А. Задков // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2003, Т. 6, С. 147-149.
12. *Габов В.В.* О значимости и особенностях преподавания учебной дисциплины «Основы научных исследований, организации и планирования эксперимента» в подготовке магистров по направлению 15.04.02 «Технологичские машины и оборудование» / В.В. Габов, Д.А. Задков // Современные образовательные технологии в подготовке специалистов для минерально-сырьевого комплекса. Сборник научных трудов II Всероссийской научной конференции, 2018, С. 528-535.

13. Задков Д.А. О значимости научно-исследовательской работы студентов специализации «Горные машины и оборудование» / Д.А. Задков, В.В. Габов // Современные образовательные технологии в подготовке специалистов для минерально-сырьевого комплекса. Сборник научных трудов II Всероссийской научной конференции, 2018, С. 558-563.
14. *Габов В.В.* О роли тематики научно-исследовательской работы в процессе подготовки магистров по направлению 15.04.02 «Технологические машины и оборудование» / В.В. Габов, Д.А. Задков // Современные образовательные технологии в подготовке специалистов для минерально-сырьевого комплекса. Сборник научных трудов I Всероссийской научной конференции, 2017, С. 101-105.

УДК 625.322

АНАЛИЗ КИНЕМАТИЧЕСКИХ СХЕМ ТЯГОВОГО УСТРОЙСТВА ФРИКЦИОННОГО ПРИВОДА СКИПОВОГО ПОДЪЕМНИКА

Авдеев Алексей Михайлович,
аспирант,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. Рассмотрены вопросы, связанные с анализом кинематических схем тяговых устройств фрикционного типа, используемых в качестве привода скипового подъемника.

Ключевые слова: тяговое устройство; рычажная система; фрикционный привод; передаточное число; сопротивление

ANALYSIS OF KINEMATIC SCHEMES OF LEVER TRACTION DEVICE OF FRICTION DRIVE OF SKIP HOSTING MACHINE

Avdeev Aleksei,
postgraduate student,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. The issues related to the analysis of the kinematic schemes of the friction type traction devices used as a skip hoist drive are considered.

Keywords: traction device; lever system; friction drive; gear ratio; resistance

Монорельсовый транспорт с гладкими ведущими колесами получил широкое распространение при разработке месторождений полезных ископаемых открытым и подземным способом, однако область их применения ограничена горно-геологическими, технологическими и климатическими условиями [1, 2, 3]. Развитие монорельсовых установок идет по пути создания локомотивов, способных работать на рельсовых путях с большим уклоном, в том числе с переменным [4, 5, 6, 7, 8]. Снятие ограничений по углу рельсового пути наиболее эффективно достигается применением тяговых механизмов фрикционного типа с ведущими колесами, прижимаемыми к тяговому рельсу искусственно созданной силой.

Существуют тяговые устройства фрикционного типа, в которых усилие прижатия ведущих колес к рельсу создается системой рычагов и зависит от сопротивления перемещаемого груза [9, 10, 11].

Одним из основных требований, имеющих определяющее значение при выборе и обосновании кинематических параметров тягового устройства,

используемого в качестве фрикционного привода скипового подъемника, является способность работать на рельсовых путях с углами наклона до 50°.

На рис. 1 представлена кинематическая схема реверсивного тягового устройства, чувствительные элементы которого выполнены в виде прямоугольных угловых рычагов 1 [9], что обеспечивает постоянство передаточного отношения рычажной системы.

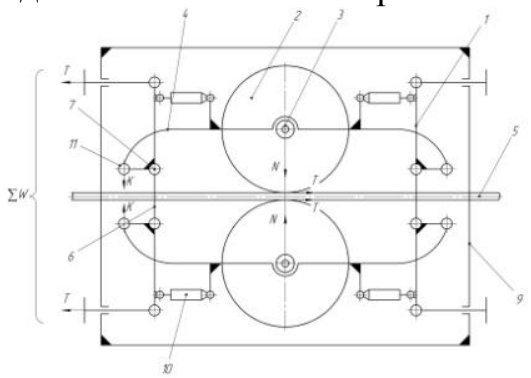


Рис. 1 - Схема тягового устройства со стабильным передаточным отношением рычажной системы

Ведущие колеса 2, зажимающие с двух сторон тяговый рельс 5, посредством подшипников 3 монтируются на рычагах 4, концы которых шарнирно соединены с концами коротких плеч угловых рычагов 1. Вершины каждой пары угловых рычагов соединены с огибающими рельс хомутами 6 шарнирами 7. Концы длинных плеч рычагов 1 тягами 8 связаны с рамой тележки 9. Поворот угловых рычагов 1 в сторону ведущих колес 2 ограничен, установленными по параллельной схеме, устройствами предварительного затяга 10.

На тяги 8 действуют реакции рамы тележки T, равные суммарному сопротивлению $\sum W$. При передаче реакций рамы T через угловые рычаги 1 будут выработаны перпендикулярные рельсу 5 силы K, которые при передаче их через шарниры 11 на рычаги 4 будут увеличены до значения N.

Тяговые устройства данного типа обеспечивают стабильность сцепления ведущих колес с рельсами, так как при износе ходовых частей сохраняются неизменными параметры, определяющие характер сцепления.

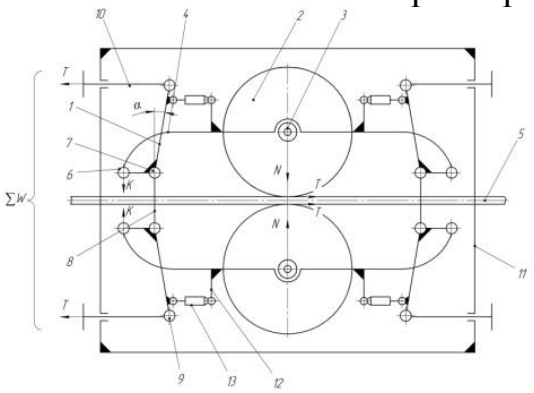


Рис. 2 - Схема тягового устройства с регулируемым передаточным отношением рычажной системы

Стабильность системы возрастает, если в процессе износа ходовых частей передаточное отношение обратной связи будет увеличено. Указанная особенность может быть достигнута применением угловых рычагов с углом между плечами большим 90°.

На рис. 2 представлена кинематическая схема шарнирно-рычажного механизма тягового устройства, плечи угловых рычагов 1 которого расположены по отношению друг к другу под углом большим, чем 90°.

Ведущие колеса 2, зажимающие рельс 5, посредством подшипников 3 установлены на рычагах 4, концы которых шарнирами 6 соединены с концами коротких плеч угловых рычагов 1. Вершины каждой пары угловых рычагов шарнирами 7 соединены с огибающими рельс хомутами 8. Концы

длинных плеч угловых рычагов 1 шарнирами 9 и тягами 10 соединены с рамой тележки 11.

Между кронштейнами 12 рычагов 4 и угловыми рычагами 1 по параллельной схеме установлены устройства предварительного затяга 13, ограничивающие также поворот угловых рычагов 1 в сторону ведущих колес 2.

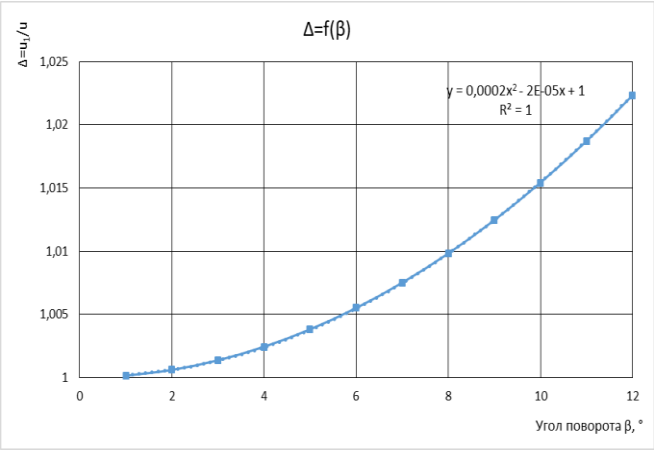


Рис. 3 - График зависимости коэффициента Δ от угла поворота углового рычага β

Схема сил, действующих на угловой рычаг 1, позволяет составить уравнение его равновесия и получить выражение для анализа передаточного числа.

График зависимости коэффициента изменения передаточного числа углового рычага $\Delta = \frac{u_1}{u}$ (u, u_1 - передаточное число углового рычага в исходном и новом (после поворота на угол β) положениях соответственно) от угла его поворота представлен на рис. 3.

Анализ полученной зависимости показывает, что при любом значении угла поворота передаточное число углового рычага параболически возрастает. Автоматическое изменение значения передаточного числа рычажной системы при изменении условий сцепления вследствие износа тягового рельса и ведущих колес повышает стабильность работы скипового подъемника.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Большунов А.В.* Рельсовые транспортные средства для сложных горно-геологических условий / А.В. Большунов, Г.В. Соколова, А.М. Авдеев // Сборник статей Международной научно-технической конференции «Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов», 2013, С.50-54.
2. *Галкин В.И.* Проблемы совершенствования транспортных систем в горной промышленности России / В.И. Галкин, Е.Е. Шешко // Горный-информационно-аналитический бюллетень, 2011, Т. S1, С. 485-507.
3. *Галкин В.И.* Направления развития транспортных систем горных предприятий / В.И. Галкин, Е.Е. Шешко // Каталог-справочник «Горная техника», 2012, С. 54-58.
4. *Тимофеев И.П.* Проблемы создания монорельсового транспорта с тяговыми механизмами. / И.П. Тимофеев, Г.В. Соколова, Н.А. Белоус // Сборник статей V Международной научно-технической конференции «Проблемы исследования и проектирования машин, 2009, С. 48-51.

5. *Бахтурин Ю.А.* Современные тенденции развития карьерного транспорта // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2009, Т. 7, С. 403-414.
6. *Яковлев В.Л.* Некоторые перспективные направления исследований в области карьерного транспорта / В.Л. Яковлев, Ю.А. Бахтурин, В.Ф. Столяров // Материалы международной научно-технической конференции по карьерному транспорту, 2002, С. 15-20.
7. *Авдеев А.М.* Перспективы использования тяговых устройств фрикционного типа в приводах горных, транспортных и технологических машин / А.М. Авдеев, Г.В. Соколова, А.В. Большунов // Записки Горного института, 2014, Т. 209, С.9-14.
8. *Васильев М.В.* Устройство, опыт эксплуатации и перспективы карьерного скипового подъема / Тр. ИГД МЧМ СССР, 1975, Вып. 46, С. 14 - 25.
9. *Берсенев В.С.* Тяговые устройства с автоматическим регулированием давления приводных колес на рельс / Записки ЛГИ, 1970, Т. LX (1).
10. *Timofeev I.* Justification of Lever Arrangement Parameters for Friction-Type Traction Gear / I. Timofeev, A. Bolshunov, Avdeev // Procedia Engineering, 2016, Vol. 150, С. 1329–1334.
11. *Большунов А.В.* Исследование условий устойчивой работы тяговых механизмов фрикционного типа. / А.В. Большунов , Г.В. Соколова // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики. Материалы 8 Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики, 2012, С. 249-252.

УДК 621.398

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ ПРИ НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ РЕЖИМАХ

Аладьин Михаил Евгеньевич,
группа ЭРС-15-1,
Санкт-Петербургский горный университет, Электромеханический факультет

Аннотация. Обоснована актуальность проблемы коррекции коэффициента мощности в электрических сетях при несинусоидальных режимах. Выявлен характер формирования несинусоидальных режимов при различных условиях. Рассмотрены основные особенности определения коэффициента мощности при различных несинусоидальных режимах. На основании комплексного анализа отечественной и международной нормативной базы получено аналитическое выражение для определения коэффициента мощности в случае наличия гармонических искажений, как со стороны источника, так и узла нагрузки. Разработана математическая модель электрической сети с несинусоидальным источником и узлом с линейной и нелинейной нагрузками, позволяющая выявить характер изменения составляющих коэффициента мощности при несинусоидальных режимах.

Ключевые слова: коэффициент; мощность; определение; расчет; несинусоидальность; нагрузка; нелинейная; гармоники

METHODS FOR DETERMINING THE POWER FACTOR IN NON-SINUSOIDAL MODES

Aladin M.E.,
group ERS-15-1,
Saint-Petersburg Mining University,
Electromechanical faculty

Abstract. The urgency of the problem of power factor correction in electrical networks in non-sinusoidal modes is substantiated. The nature of the formation of non-sinusoidal regimes under various conditions. The main features of determining the power factor for various non-sinusoidal modes are considered. Based on a comprehensive analysis of the domestic and international regulatory framework, an analytical expression has been obtained for determining the power factor in the case of harmonic distortion from both the source and the load node. A mathematical model of an electrical network with a non-sinusoidal source and a node with linear and non-linear loads has been developed, allowing to reveal the nature of changes in the components of the power factor in non-sinusoidal modes.

Keywords: coefficient; power; definition; calculation; non-sinusoidality; load; nonlinear; harmonics

Коэффициент мощности является основным показателем, характеризующим наличие реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий с нагрузкой различного типа [1, 2]. В современных условиях широкое распространение получила нелинейная нагрузка в виде систем регулируемого электропривода технологических установок [3, 4]. Данные системы содержат активные преобразователи, которые в процессе функционирования потребляют несинусоидальный ток, содержащий высшие гармонические составляющие [5, 6]. Также активные преобразователи могут входить в состав электротехнических комплексов распределенной генерации и являться источником высших гармоник со стороны источника [7, 8]. Таким образом, в общем случае несинусоидальный режим сети формируется совместно источником и подключенной нагрузкой, что необходимо учитывать при обосновании выбора технического средства или решения по компенсации высших гармоник, которые также позволяют осуществлять коррекцию коэффициента мощности [9, 10].

В условиях несинусоидальных режимов коэффициент мощности формируется несколькими составляющими, которые отражают соотношение компонентов полной мощности основной гармоники и высших гармоник [11]. В настоящее время не выявлено строгое аналитическое выражение, которое отражает вклад уровня несинусоидальности и соотношения составляющих полной мощности в величину коэффициента мощности [12, 13]. При этом классическое определение коэффициента мощности при синусоидальном режиме отражает только сдвиг фаз напряжения и тока основной составляющей без учета влияния высших гармоник [14, 15].

В данной работе рассмотрены способы расчета коэффициента мощности для следующих случаев формирования несинусоидальных режимов: питание нелинейной нагрузки от синусоидального источника; питание линейной нагрузки от несинусоидального источника; питание нелинейной нагрузки от несинусоидального источника; питание линейной и нелинейной нагрузок от синусоидального источника; питание линейной и нелинейной нагрузок от несинусоидального источника .

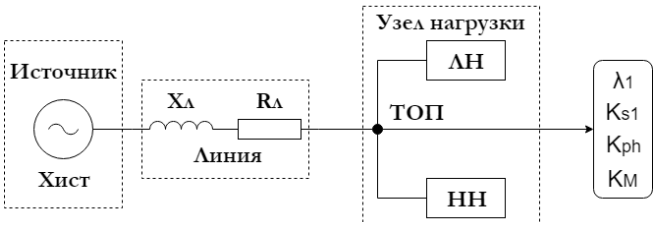


Рис. 1 - Структура модели системы электроснабжения

В процессе этого использовались аналитические выражения, отраженные в общепризнанных отечественных и международных научных трудах, а также нормативной документации, разработанной международной научно-технической ассоциацией «Институт инженеров электротехники и электроники» (IEEE, США) [14, 15].

Для наиболее общего случая (рис. 1) формирования несинусоидального режима получено следующее аналитическое выражение для вычисления коэффициента мощности:

$$\lambda = \lambda_1 k_{S1}(1 + k_{pH}), \lambda_1 = \frac{P_1}{S_1};\ k_{S1} = \frac{S_1}{S};\ k_{pH} = \frac{P_H}{P_1}$$

где: $S1$ - полная мощность первой гармоники; S - полная мощность; $P1$ - активная мощность первой гармоники; P_H - неактивная составляющая полной мощности, обусловленная наличием высших гармоник; λ_1 - коэффициент мощности по основной гармонике; k_{S1} - коэффициент, отражающий уровень завышения полной установленной мощности сетевого оборудования при наличии гармонических искажений; k_{pH} - коэффициент, характеризующий соотношение неактивной составляющей полной мощности и активной мощности основной гармоники.

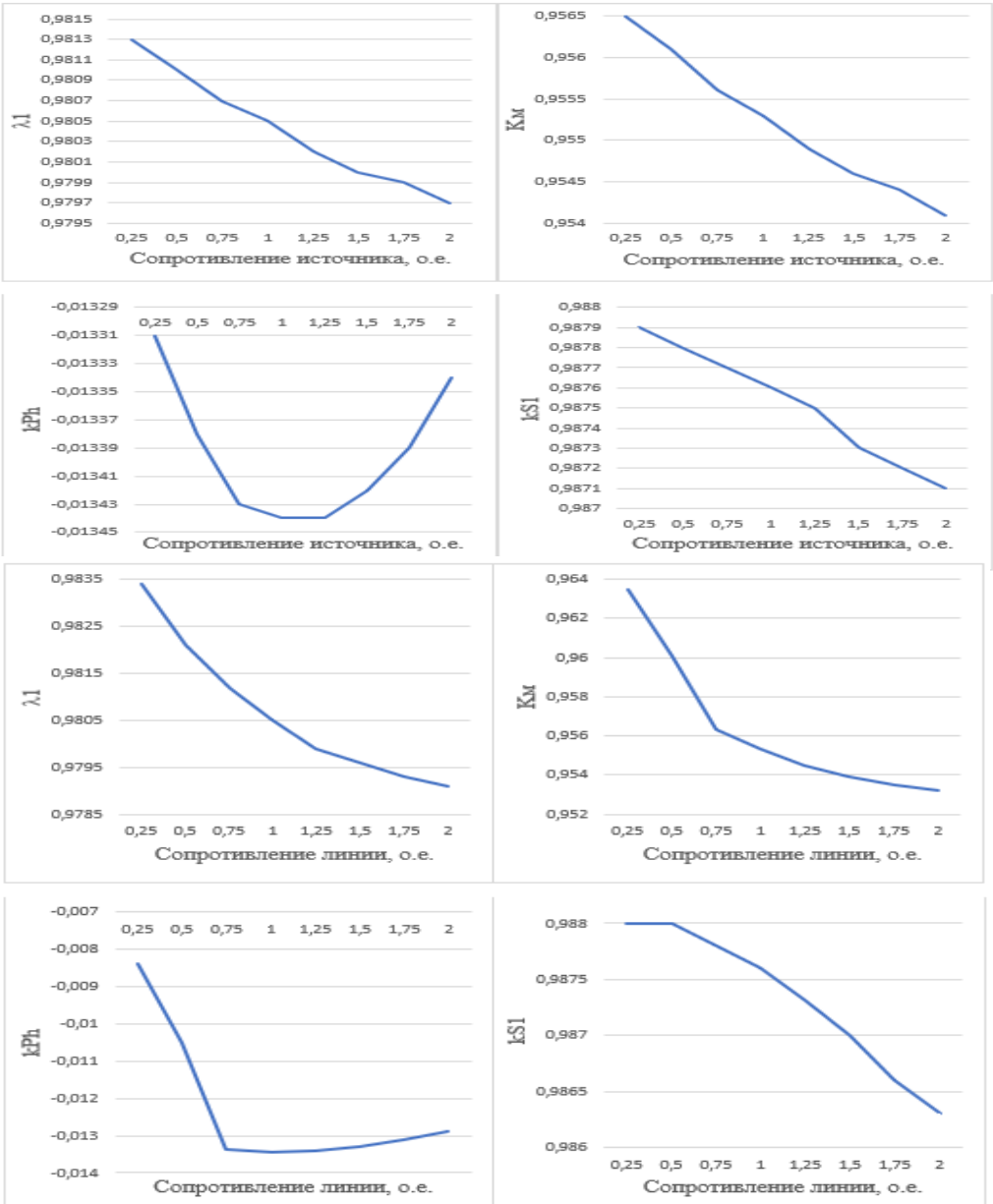


Рис. 2 - Закономерности изменения коэффициентов, формирующих величину коэффициента мощности при несинусоидальных режимах, от параметров источника и сети

Для оценки влияния параметров источника, сети и узла нагрузки на составляющие коэффициента мощности в соответствии с полученным аналитическим выражением разработана математическая модель электрической сети с несинусоидальным источником и узлом с линейной и нелинейной нагрузками. Модель реализована в Matlab Simulink.

По результатам моделирования получены зависимости (рис. 2).

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- при выборе технических средств и решений по компенсации высших гармоник и коррекции коэффициента мощности необходимо рассматривать различные случаи формирования несинусоидальных режимов;
- получено аналитическое выражение для определения коэффициента мощности при формировании несинуоидального режима, как со стороны источника, так и со стороны нагрузки;
- полученное аналитическое выражение содержит коэффициенты, отражающие влияние гармонических искажений на степень завышения полной установленной мощности сетевого оборудования, на уровень неактивных составляющих полной мощности;
- по результатам математического моделирования получены закономерности изменения коэффициентов, формирующих величину коэффициента мощности при несинусоидальных режимах, от параметров источника и сети.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Abramovich B.N.* Efficiency Estimation of Hybrid Electrotechnical Complex for Non-Sinusoidal Signals Level Correction in Autonomous Power Supply Systems for Oil Fields / B.N. Abramovich, Y.A. Sychev, R.Y. Zimin, P.A. Kuznetsov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 194 (5), 142141.

2. *Abramovich B. N.* Protective Controller against Cascade Outages with Selective Harmonic Compensation Function / B.N. Abramovich, Y.A. Sychev, P.A. Kuznetsov // Journal of Physics: Conference Series, 2018, Vol. 1015 (2), 22001.

3. ГОСТ 32144-2013. «Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» (введен в действие Приказом Росстандарта от 22.07.2013 N 400-ст).

4. *Абрамович Б.Н.* Энергетическая безопасность технологических процессов добычи нефти / Б.Н. Абрамович, Ю.А. Сычев // Нефтяное хозяйство, 2016, Т 9, С. 120-123.

5. *Абрамович Б.Н.* Оценка эффективности гибридного электротехнического комплекса для коррекции уровня несинусоидальности в автономных

системах электроснабжения нефтепромыслов / Б.Н. Абрамович, Ю.А. Сычев, Р.Ю. Зимин // Промышленная энергетика, 2018, Т. 1, С. 45-54.
6. *Абрамович Б.Н.* Гибридная система коррекции уровня высших гармоник и обеспечения бесперебойного электроснабжения ответственных потребителей нефтедобычи / Б.Н. Абрамович, Ю.А. Сычев, Р.Ю. Зимин // Промышленная энергетика, 2018, Т. 11, С. 50-57.
7. *Abramovich B.N.* The control algorithm for active and hybrid correction systems of voltage and current waveforms / B.N. Abramovich, Y.A. Sychev // 2016 Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines, Dynamics 2016, 2016, 7818962.
8. *Сычев Ю.А.* Проблемы компенсации высших гармоник тока и напряжения в условиях распределенной генерации / Ю.А. Сычев, П.А. Кузнецов, Р.Ю. Зимин, Я.А. Соловьева // Вестник Московского авиационного института, 2018, Т. 25 (4), С. 216-228.
9. *Abramovich B.N.* The structure selection of hybrid correction device for centralized and distributed electrical networks / B.N. Abramovich, Y.A. Sychev // 11th International IEEE Scientific and Technical Conference "Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines", Dynamics 2017 Proceedings, 2017, С. 1-6.
10. *Abramovich B.N.* Hybrid correction system adapted for a variable speed drive / B.N. Abramovich, Y.A. Sychev // 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2017 - Proceedings 2017, 2017, 8076335.
11. *Abramovich B.N.* The evaluation of hybrid active filter efficiency / B.N. Abramovich, Yu.A. Sychev // В сборнике «Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП-2016», 2017, 7879064.1
12. *Abramovich B.N.* Electrical complex of combined power supply on the base of renewables and hybrid correction device / B.N. Abramovich, Y.A. Sychev, V.B. Prokhorova // Conference of Open Innovation Association, FRUCT 20. "Proceedings of the 20th Conference of Open Innovations Association, FRUCT 2017", 2017, С. 3-9.0
13. *Abramovich B.N.* Hybrid harmonic compensation device adapted for variable speed drive system / B.N. Abramovich, Y.A. Sychev, R.Y. Zimin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, 032002.
14. IEEE 1459-2010 - Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions.
15. IEEE 519-2014 - Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems.

УДК 656.13.05.001

НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА ПО КРИТЕРИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Алиева Лейла,
группа АХ-15,
Санкт-Петербургский горный университет, Электромеханический факультет

Аннотация. Предложено события, заключающиеся в превышении загрязняющими веществами автомобильного транспорта в воздушной среде городской уличной дорожной среде предельных значений максимальных разовых и средних суточных концентрации, соответственно, как «сбой» и «отказ» звена технологической системы перевозок по требованиям экологической безопасности. Величину допустимой вероятности отказа для технологической системы перевозок по требованиям экологической безопасности рекомендуется принимать 0,05–0,01.

Ключевые слова: автомобильный транспорт; перевозки пассажиров и грузов; технологическая система перевозок; концентрации загрязняющих веществ; критерий экологической безопасности.

RELIABILITY OF THE TECHNOLOGICAL SYSTEM THE MOTOR TRANSPORT BY CRITERION OF ENVIRONMENTAL SAFETУ

Aliyeva Leyla,
group AH-15,
Saint-Petersburg Mining University,
Electromechanical faculty

Abstract. It is offered the events consisting in excess by pollutants of the motor transport in the air environment to urban street road environment of extreme values of the maximum single and average daily allowance of concentration, respectively, as "failure" and "refusal" of a link of a technological system of transportations according to requirements of environmental safety. For the technological system of transportations according to requirements of environmental safety 0.05-0.01 is recommended to accept the size of admissible probability of refusal.

Keywords: motor transport; transportations of passengers and freights; technological system of transportations; concentration of pollutants; criterion of environmental safety.

Рост объема перевозок в рамках сложившейся улично-дорожной сети и плотной примагистральной жилой застройки крупного города ведет в увеличению рисков для населения не только попасть в ДТП с тяжелыми последствиями, но и подвергнуться воздействию пороговой дозы токсичных компонентов отработавших газов, мелкодисперсных частиц износа шин, тормозных колодок и истирания дорожного покрытия [1, 2, 3]. Формализация оценки надежности технологической системы перевозок грузов и пассажиров по экологическим критериям актуальна для реализации сквозной технологии объектно-ориентированного управления обеспечением экологической безопасности автомобильного транспорта [4, 5].

Совокупность функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения, объектов перемещения и исполнителей для выполнения в регламентированных условиях заданных технологических процессов перевозок является *технологической системой* (ГОСТ 27.004-85 [6]) (рис. 1).

Рис. 1 - Технологическая система перевозок автомобильным транспортом

Составляющие компоненты, необходимые для действия технологической системы в целом – это функциональные звенья, состоящие из еще более детальных подсистем. При инвентаризации выбросов ЗВ на городских магистралях рекомендуется принимать в качестве функциональных звеньев технологической системы перевозок автомобильным транспортом – участки дорожной сети, на протяженности которых структура, интенсивность и скорость автотранспортных потоков изменяется не более, чем на 25% [7]. Нормальное функционирование системы может протекать только при ряде ограничений параметров транспортного процесса. При отклонении уровня параметров от установленных требований наступает частичный отказ (сбой) или полный отказ технологической системы.

Например, разрушение дорожного покрытия вследствие аварии тепловой сети – функциональный отказ транспортного процесса на маршруте (система не работоспособна), нарушение расписания движения автобусов вследствие заторов – параметрический отказ (сбой) процесса, который восстанавливается (рис. 2) [8, 9].

Особенность технологической системы перевозок автомобильным транспортом – это реализация перевозочного процесса в открытых условиях городской УДС. Поэтому требования экологической безопасности относятся к одним из основных критериев надежности системы [10,11].

Гигиеническими нормативами России ГН 2.1.6.1338-03 [12] установлены требования к предельно допустимым концентрациям (ПДК) примесей в атмосферном воздухе населенных мест с учетом вероятностного характера образования и рассеивания загрязняющих веществ (ЗВ), а также вредности воздействия на организм при их превышении: максимально разовые ПДКмр (приводящие к рефлекторным реакциям) и среднесуточные ПДКсс (резорбтивное, приводящее к патологическим изменениям).

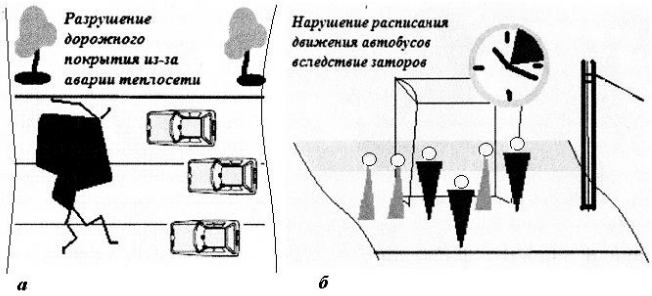


Рис. 2 - Отказы технологической системы перевозок:
а - функциональный отказ; *б* – параметрический отказ (сбой)

Требования ГН 2.1.6.1338-03 распространяются на весь городской воздушный бассейн, окружающий старые и новые селитебные территории, промышленные зоны, городские магистрали и дороги.

Вероятность отказа технологической системы автомобильного транспорта по требованиям экологической безопасности на участке УДС (звена технологической системы), может быть определена расчетом [13, 14,15]:

$$P(D_Э) = 1 - \prod_{i=1}^{n}\prod_{j=1}^{k}[1 - P(D_N)]\cdot[1 - P(D_Л)],$$

где $P(D_N)$ - вероятность, что интенсивность транспортного потока и состав АТС в течение определенного времени создадут на городской магистрали *j*-ю пороговую концентрацию *i*-го ЗВ (токсиканта); $P(D_Д)$ - вероятность длительности действия в зоне *j*-ой пороговой концентрацией *i*-го ЗВ дольше по времени, чем это определено для населенных мест нормативами.

Предложено события, заключающиеся в превышении ЗВ автомобильного транспорта в воздушной среде городской уличной дорожной среде предельных значений максимальных разовых и средних суточных концентрации, соответственно, как «сбой» и «отказ» звена технологической системы перевозок по требованиям экологической безопасности. В первом случае система восстанавливается оперативным управлением, во втором – функционирование системы должно быть приостановлено для реструктуризации.

Методика оценки уровня экологической безопасности технологической системы автомобильного транспорта в общем случае будет состоять из следующих этапов: предварительный анализ данных мониторинга ОС о санитарно-гигиеническом состоянии воздушного бассейна городской территории за отдельные периоды; обследование и установление участков автомагистралей с интенсивными автотранспортными и пешеходными потоками; идентификация токсикантов и измерение их концентраций в

местах нахождения участников движения; расчеты в принятом интервале времени параметров вероятностных моделей концентраций токсикантов и времени действия их пороговых значений; оценка вероятности отказа.

Величину допустимой вероятности отказа для технологической системы перевозок по требованиям экологической безопасности рекомендуется принимать 0,05…0,01 при разработке рекомендаций по составу муниципального автопарка [16,17].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гудков В.А.* Методология активного воздействия на экологическую нагрузку городского автотранспорта. Монография // В.А. Гудков, Ю.Я. Комаров, В.Н. Федотов, 2009, 143 с.
2. *Achtelik Jr. G.H.* Effects of Environmental Conditions on Particulate Nitrate Stability During Post Sampling Phase / G.H. Achtelik Jr., J. Omand // Technical paper presented at a International Specialty Conference, PM 2.5: Fine Particle Standard, 1998.
3. *Pomales T.J.* PM10 Mass Analysis System Audit Findings: A Prelude to PM2.5 (Fine) Mass Analysis / Technical paper presented at the AWMA's 90th Annual Meeting and Exhibition, 1997.
4. *Брюхань А.Ф.* Среднегодовая концентрация загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу от нестационарного источника, как критерий его воздействия на человека и окружающую природную среду / А.Ф. Брюхань, Е.А. Черемикина // Вестник МГОУ. Серия «Естественные науки», 2011, Т. 2, С. 129-134
5. Устройство обезвреживания токсичных компонентов газовых выбросов, содержащих дисперсные частицы / В.Н. Федотов, Ю.Я. Комаров, А.А. Рысаков // Пат. 2318580 РФ, МПК B 01 D 50/00, 53/74. ВолгГТУ, 2008.
6. ГОСТ 27.004-85 Надежность в технике. Системы технологические. Термины и определения.
7. Госкомэкология России. Методика определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов. – М.:, 1999, 18 с.
8. *Гудков В.А.* Логистический подход к управлению экологической безопасностью автомобильного транспорта в крупных городах / В.А. Гудков, В.Н. Федотов // СПбГАСУ. Материалы международной конференции «Безопасность дорожного движения в крупных городах», 2012 года, С. 82-88.
9. *Yuri, K.* Application of artificial neural networks in the system of self-diagnosis car / K. Yuri, G. Liudmila // International Journal of Applied Engineering Research, 2017. Vol.12 (2), С. 246-248.
10. *Yurii, K.* Application of Artificial Neural Networks in Vehicles' Design Self-Diagnostic Systems for Safety Reasons / K. Yurii, G. Liudmila // Transportation Research Procedia, 2017, Vol. 20, С. 283-287.

11. *Fedotov, V.*, Concept of air environment cleaning of natural and technogenic systems of motor transport using mobile devices / V. Fedotov, A. Afanasiev // Transportation Research Procedia, 2018, Vol. 36, С. 189-204.
12. ГН 2.1.6.1338-03 Гигиенические нормативы Минздрава России. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест.
13. *Fedotov, V.* Cleaning of Atmospheric Air in a City Street and Road Network as an Environmental Safety Technology for Road Transport. / V. Fedotov, A. Gorbacheva, A. Dorodnikova, M. Yerokhina // Transportation Research Procedia, 2017, Vol. 20 (2), С. 200-204.
14. *Федотов В.Н.* Инженерный метод очистки воздушной среды городской УДС / В.Н. Денисов, В.Н. Федотов // «Охрана атмосферного воздуха. Атмосфера», 2011, Т. 3, С. 54-59.
15. *Зырянов В.В.* Методы организации приоритетного движения автобусов с использованием интеллектуальных транспортных систем / В.В. Зырянов, А.А. Мирончук // СПбГАСУ. Материалы международной конференции «Безопасность дорожного движения в крупных городах», 2012, С. 108-113.
16. *Fedotov, V.*, Optimization of using fixed route taxi-buses with account of security of road traffic and air pollution in big cities / V. Fedotov, Y. Komarov, S. Ganzin // Transportation Research Procedia, 2018, Т. 36, С. 183-188.
17. *Boyko G.* Research of influence of small capacity passenger vehicles to work of transport system / G. Boyko, S. Tujrin, V. Fedotov // Transport Problems, 2015, Vol. 10 (2), С. 75- 81.

УДК 672.711; 671.2

УЗОРНАЯ СВАРКА МЕТАЛЛОВ В ДЕКОРАТИВНО-ПРИКЛАДНОМ ИСКУССТВЕ

Анакин Ярослав Вячеславович,
группа ТХО-16,
Санкт-Петербургский горный университет, Электромеханический факультет

Аннотация. В данной работе рассматривается узорная кузнечная сварка металлов, являющаяся способом получения композитного материала, который обладает повышенными художественными и конструкционными свойствами, по сравнению с исходными компонентами. Метод узорной сварки имеет древнейшее происхождение и актуален до сих пор, как в области художественного творчества, так и в области создания композитных материалов.

Ключевые слова: дамасская сталь; обработка давлением; кузнечная сварка; мокумэ-ганэ; холодное оружие; композиционные материалы; ювелирное дело

PATTERN METAL WELDING IN ARTS AND CRAFTS

Anakin Yaroslav,
group THO-16,
Saint-Petersburg Mining University,
Electromechanical faculty

Abstract. In this project pattern metal welding in arts and crafts is considered. This is a method of producing composite material, which has increased artistic and structural properties in compare with original components. Pattern metal welding is an ancient technology and still relevant both in artwork field and field of creating new composite materials.

Keywords: wootz; smithing; forge welding; mokume-gane; cold steel; composite materials; lewelry

История сварных сталей насчитывает более двух тысяч лет. Эксперименты в этой области проводили кельтские кузнецы еще до нашей эры (VI-II век). Однако настоящих результатов смогли добиться только древние римляне. К IV веку нашей эры они научились делать узорчатую сердцевину клинка, приваривая к краям стальные лезвия. Сердцевина служила своего рода амортизатором, который сочетал в себе мягкость железа, которая не давала остальному клинку быть слишком хрупким, и

упругость низкоуглеродистой стали. Такая технология наиболее известна под названием дамасская сталь. Но такое же название носит и индийская тигельная сталь, которая также иногда называется булатом, однако к узорной сварке она отношения не имеет. Сварная дамасская сталь на Руси преобразовалась и получила название «харалуг».

Хорезмийский учёный Аль-Бируни в X веке так описывает мечи русов: «Русы выделывают свои мечи из шапурхана (стали), а долы посреди них из нармохана (железа), чтобы придать им прочность при ударе, предотвратить их хрупкость. Аль-фулад (литая сталь) не выносит холода их зим и ломается при ударе. Когда они познакомились с фарандом (сплавленным узорчатым металлом), то изобрели для долов плетенье из длинных проволок, изготовленных из обеих разновидностей железа - шапурхана и нармохана. И стали у них получаться на сварных плетениях при погружении в травитель вещи удивительные и редкостные, такие, какие они желали и намеревались получить. Фаранд (литой булат) же не получается соответственно намерению, но он (его узор) случаен».

Таким образом, можно сделать вывод, что узорная сварка сталей была известна практически по всей Европе и на Востоке. В России холодное оружие из дамасской стали пользовалось спросом и в царские времена и во времена Романовых. Известна сабля царя Михаила Федоровича, которая хранится в Государственной оружейной палате в Москве, датируемая 1618 годом (надпись о дате сделана прямо на клинке насечкой). С XVII века производство сварочного булата переносится в Златоуст и Тулу. В Государственном Эрмитаже хранится булатная сабля генерала-фельдмаршала Б.П. Шереметьева. От удара клинок был сломан, но затем наварен железом, что дает понять ценность оружия.

Это означает не только художественные качества такого оружия, но и определенно высокие конструкционные свойства.

Для получения сварной стали с характерным узором, стали с различным содержанием углерода складываются и проковываются несколько раз. Однако слишком большое количество проковок приводит к гомогенизации стали. Более прогрессивная технология подразумевает скручивание заготовки в спираль, проковку, соединение с такими же заготовками в брус, новую проковку и скручивание до получения нужного результата. Более светлый оттенок стали часто придает фосфор, который в обычном случае является вредной примесью, снижающей пластичность и ударную вязкость, однако в комбинации с мягкими низкоуглеродистыми сталями и железом, служащими амортизатором ударных нагрузок, твердость может идти на пользу. Аналогично с клинками традиционных японских мечей, где высокая твердость лезвия, после зональной закалки имеющего мартенситную структуру, компенсируется мягкой незакаленной «спинкой» клинка.

В Японии была разработана техника сварки цветных металлов (рис. 1), которую до сих пор используют в ювелирной промышленности. Создается композиционный материал из разноокрашенных металлов, образующих

декоративный узор. Тонкие листы металла складываются слоями в определенной последовательности, затем зажимают в кондуктор (обычно, вращающуюся пластину) и создают давление. Затем металл прогревают в печи.

Рис. 1 - Кольца в технике Мокумэ-Ганэ

Коэффициент теплового расширения у серебра, меди выше, чем у материала кондуктора (обычно это сталь или титан), поэтому давление увеличивается еще больше. Температура и время при этом выбирается такая, чтобы металл был максимально близок к температуре плавления, но не плавился. Для медно-латунных и медно-серебряных комбинаций она составляет 760º С и 2 часа соответственно. Дифузионные процессы в металлах создают неразрывное соединение, которое часто закрепляется дополнительным прессованием сразу после вынимания заготовки из печи. Затем заготовка проковывается или прокатывается на валах для получения уже готового узорчатого материала, который можно отрезать и растягивать в кольца, вытачивать или выковывать подвески и иные декоративные вещи.

Узорная сварка металлов до сих пор служит человеку для получения прекрасных вещей, однако метод сочетания разных металлов в виде разнородных слоев оставляет большое пространство для экспериментов с современными легированными сталями и прочими металлами, например для получения комбинаций из титана и алюминия, а также современных магниевых сплавов, таких как Super Magnesium.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гуляев Б.Б.* Иерархия структур и механических свойств стали / Б.Б. Гуляев, Е.И. Пряхин, В.М. Колокольцев // Литейное производство, 1986, Т. 10, С. 9-11.

2. *Солнцев Ю.П.* Материаловедение: учебник для вузов / Ю.П. Солнцев, Е.И. Пряхин. - С-Пб.: Химиздат, 2007, 784 с.

3. *Ширмедов Д.Э.* Дамасская сталь – величие качества не подвластно времени / Д.Э. Ширмедов, А.Н. Корнеева, В.В. Корнеева // Химия, новые материалы, химические технологии. Межвузовский сборник научных трудов, 2018, С. 78-83.

4. *Шахназаров К.Ю.* Аномалии пластичности латуни, бронзы, силумина, дуралюмина и отожженной стали как следствие качественного изменения интервала кристаллизации / Металлообработка, 2017, Т. 1 (97), С. 40-43.
5. *Шахназаров К.Ю.* Диаграмма железо - углерод Д. К. Чернова, структура и свойства стали / Металловедение и термическая обработка металлов, 2009, Т. 1 (643), С. 6-9.
6. *Солнцев Ю.П.* Технология конструкционных материалов: Учебник для вузов / Ю.П. Солнцев, Б.С. Ермаков, В.Ю. Пирайнен. - СПб.: Химиздат, 2017, 504 с.
7. *Жукова М.А.* Материаловедение: Практикум / М.А. Жукова, Н.Б. Кириллов, А.П. Петкова, М.В. Яковицкая. Под ред. Н.Б. Кириллова. - С-Пб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017, 114 с.
8. *Григоренко Е.Р.* Zladinox - современный дамаск Златоуста. // Современные техника и технологии. Сборник докладов XX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. 2014, С. 212-213.
9. *Хорев В.Н.* Оружие из дамаска и булата. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2004, 224 с.
10. *Матвеева М.А.* Булат как основа конструирования новых материалов / Территория инноваций, 2017, Т. 10 (14), С. 16-20.
11. *Чуманов И.В.* О возможности конструирования новых материалов на основе изучения исторических булатов / И.В. Чуманов, М.А. Матвеева // Металлургия машиностроения, 2018. Т. 2, С. 26-29.
12. *Гуревич Ю.Г.* Булат. Структура, свойства и секреты изготовления Монография. — Курган: Курганский государственный университет, 2006, 158 с.
13. *Казачкова О.А.* Дизайн и особенности технологии изготовления художественных изделий малых форм из металлических пластичных масс / О.А. Казачкова, Е.А. Кулишова // В сборнике трудов конференции «Информатика и технологии. Инновационные технологии в промышленности и информатике (РНТК ФТИ-2018)», 2018, С. 923-929.
14. *Горшкова Т.П.* Исследование хладостойкости низколегированных сталей / Т.П. Горшкова, К.А. Бобков // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME-2017. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, 2017. Т. 1, С. 322-325.
15. *Borisova L.G.* Methods of improvement of exploitation features of carbon and low-alloyed steels // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, С. 092006.

УДК 662.641.032

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕЛКОЙ ДРЕВЕСИНЫ ПОСЛЕ ГЛУБОКОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ

Андреева Анна Александровна,
группа ТТМ-18,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. В статье приведены сведения об особенностях распределения древесных включений после глубокого фрезерования торфяной залежи. Был проведен ряд экспериментов по отбрасыванию модельных смесей торфа и древесной щепы, в результате которого было установлено, что более плотные частицы древесной щепы летят несколько дальше частиц торфа, частицы древесной щепы ложатся всегда поверх частиц торфа, и происходит реализация принципа разделения. Исходя из анализа функционирования машины для уборки мелкой древесины, следует проводить механическую активацию верхнего слоя торфяного поля для повышения эффективности сбора мелкой древесины.

Ключевые слова: торфяная залежь; машина глубокого фрезерования; древесные включения, уборка мелкой древесины

DISTRIBUTION FEATURES OF SMALL WOOD AFTER A DEEP-MILLING PEAT DEPOSITS

Andreeva Anna,
group TTM-18,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. The article provides information about the features of the distribution of wood inclusions after deep milling of peat deposits. A number of experiments were carried out to discard model mixtures of peat and wood chips, as a result of which it was found that the denser wood chips particles fly slightly further than the peat particles, wood chips particles always lay on top of the peat particles, and the principle of separation is realized. Based on the analysis of the small wood collection machine, mechanical activation of the upper layer of the peat field should be carried out to increase the efficiency of collecting small wood.

Keywords: peat deposit; deep miller; wood matter; small wood collection

В настоящее время в торфяной промышленности при подготовке торфяной залежи к добыче и при ремонте производственных площадей широкое применение нашли машины глубокого фрезерования [1, 2]. Они обладают высокой производительностью, позволяют сократить число технологических операций, а также дают возможность обеспечить комплексную механизацию безотходной добычи и переработки торфодревесного сырья [3, 4].

На этапе подготовки торфяной залежи к разработке удалить древесные включения можно двумя методами: корчеванием и сплошным фрезерованием [5, 6, 7]. Глубокое (до 0,4 м) фрезерование торфяной залежи вместе с древесными включениями осуществляется машинами МТП-41, МТП-42А, МТП-44А и МП-20. Эти машины предназначены для работы на предварительно осушенных закустаренных торфяных месторождениях без каменистых включений. Обрабатываемая площадь может быть покрыта кустарником и мелколесьем различных пород диаметром до 8-10 см, а также пнями свежей и давней рубки высотой не более 10 см и диаметром не более 20 см. Деревья диаметром стволов более 12 см должны быть сведены, а пни диаметром более 20 см удалены [5, 8].

При движении машины с заглублением в торфяную залежь вращающейся фрезы, кустарник и древесная растительность плотно прижимаются к поверхности залежи отбойной плитой и фрезеруются совместно с верхним слоем торфяного грунта, растительностью и погребенными корнями (пнями) [9].

Фреза, вращаясь против хода движения машины со скоростью 8 м/с, отбрасывает измельченный материал назад. Так как частицы торфа и древесной щепы различаются по физико-механическим свойствам (влажность, плотность, размер) и представляет собой совокупность частиц различных размеров, которые отлетают по разным траекториям и на разные расстояния, то при отбрасывании фрезой они обладают разной скоростью витания. При одновременном отбрасывании частиц торфа древесной щепы происходит их разделение в потоке материала при настильной траектории отбрасывания.

Результаты экспериментов по отбрасыванию модельных смесей торфа и древесной щепы показывают, что более плотные частицы древесной щепы летят несколько дальше частиц торфа, частицы древесной щепы ложатся всегда поверх частиц торфа, и происходит реализация принципа разделения.

Измельченная смесь торфа и щепы отбрасывается фрезой под задний опорный каток машины и уплотняется [9].

При нормативной глубине фрезерования $h_ф$=0,4 м и значении коэффициента разрыхления слоя $k_р$ = 2 [10] получается рыхлый расстил торфяного сырья толщиной около 0,8 м, который сразу уплотняется задним опорным катком машины до толщины $h_у$ = 0,5 м. При уплотнении слоя древесная щепа вдавливается в него на глубину до 0,10-0,15 м (рис. 1).

Опыт эксплуатации машин МТП-42А и МТП-44А на подготовке и ремонте производственных площадей показал, что качество подготовки

торфяной залежи во многих случаях не отвечает требованиям по засоренности древесными включениями [5].

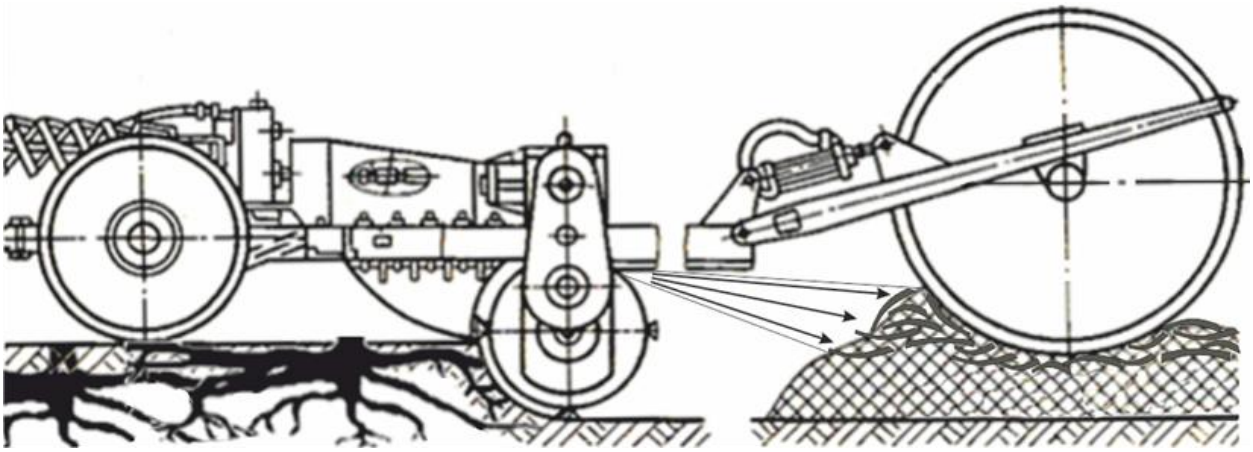


Рис. 1 - Глубокое фрезерование торфяной залежи с измельчением древесных включений

Практикой эксплуатации установлено, что наиболее представительную группу (55 – 60%) составляют древесные включения с размерами 100 – 250 мм. Количество древесных включений длиной менее 100 мм не превышает 15% от общего числа. Чаще других встречаются куски древесины с отношением длины к ширине от 3:1 до 7:1 [5].

Согласно нормативам [11, 12] засоренность посторонними горючими примесями (куски размером более 25 мм) не должна превышать 8%. Несмотря на то, что доля древесных остатков в сушимом слое торфа не превышает допустимый стандартом предел, наличие их сильно затрудняет нормальное проведение технологического процесса, снижает цикловые и сезонные сборы торфа, производительность машин, ухудшает качество готовой продукции [13].

Кинематика фрезы и оснащение ее режущим инструментом определенного типа и формы во многом определяют крупность получаемой древесной щепы и характер ее распределения в верхнем слое торфяной залежи после глубокого фрезерования, что влияет на эффективность использования машин типа МТП-22А и КРК-3 для сбора мелких древесных остатков с рабочим органом в виде игольчатого барабана пассивного действия [1, 13, 14].

Игольчатые барабаны, свободно перекатываясь по поверхности залежи, накалывают мелкие древесные остатки, которые при повороте барабанов снимаются с игл специальными устройствами, накапливаются в кузове и транспортируются на специальные площадки. На подготовительных операциях и ремонте торфяных полей при пнистости торфяной залежи до 2% сбор мелкой древесины с поверхности производится за один проход машины, при пнистости 2 – 3% – за два прохода [5].

В машине МТП-22А с целью повышения производительности и улучшения качества подбора мелкой древесины применены боковые и средние расчистители, которые направляют лежащие на поверхности поля

древесные включения из «мертвых зон» под игольчатые барабаны. Это решение позволяет повысить эффективность подбора, однако щепа, вдавленная в слой торфа, не накалывается игольчатыми штифтами ($h_ш$ = 60 мм) барабанов. Таким образом, следует проводить механическую активацию верхнего слоя торфяного поля для повышения эффективности сбора мелкой древесины.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Солопов С.Г.* Торфяные машины и комплексы. Учеб. пособие для вузов / С.Г. Солопов, Л.О. Горцакалян, Л.Н. Самсонов, В.И. Цветков. - М.: Недра, 1981, 416 с.
2. *Михайлов А.В.* Торфяные ресурсы Северо-западного федерального округа России и перспективы их освоения / А.В. Михайлов, С.Л. Иванов, А.В. Большунов, Э.А. Кремчеев // Записки Горного института, 2013, Т. 2, С. 226-230.
3. *Фомин К.В.* Определение удельного расхода энергии при взаимодействии рабочего органа машины глубокого фрезерования с торфяной залежью при подготовке ее к эксплуатации / К.В. Фомин, А.И. Жигульская // Труды Инсторфа, Т. 8 (61), 2013. С. 33-39.
4. *Mikhailov A.* Peat surface mining methods and equipment selection. Mine Planning and Equipment Selection. Proceedings of the 22nd MPES Conference, Dresden, Germany, 14th – 19th October 2013. Drebenstedt, Carsten, Singhal, Raj (Eds.), 2014, Vol. 2, C. 1243-1249.
5. *Смирнов В.И.* Практическое руководство по организации добычи фрезерного торфа: учебное пособие / В.И. Смирнов, А.Н. Васильев, А.Е. Афанасьев, А.Н. Болтушкин. – Тверь: ТГТУ, 2007, 392 с.
6. *Mikhailov A.V.* Excavating and loading equipment for peat mining / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 87, 022014.
7. *Mikhailov A.* Strip mining of peat deposit / A. Mikhailov, A. Zhigulskaya, T. Yakonovskaya // Proceeding of the 26th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection: MPES 2017. Luleå, Sweden, 29-31August 2017. Ed. by Behzad Ghodrati et al. Luleå University of Technology, 2017, C. 497-501.
8. *Жигульская А.И.* Научные основы комплексной механизации безотходной круглогодичной технологии добычи и переработки ресурсов торфяных месторождений: монография / А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовская. – Тверь: ТвГТУ, 2014, 193 с.
9. *Самсонов Л.Н.* Фрезерование торфяной залежи. – М.: Недра, 1985, 211 с.
10. *Антонов В. Я.* Технология полевой сушки торфа / В.Я. Антонов, Л.М. Малков, Н.И. Гамаюнов. – М.: Недра, 1981, 239 с.
11. ГОСТ Р 50902-2011 Торф топливный для пылевидного сжигания. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2011, 7 с.
12. *Михайлов А.В.* Требования к торфяному сырью для производства окускованного топлива / А.В. Михайлов, А.В. Большунов, Э.А. Кремчеев,

К.В. Епифанцев // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012, Т. 4, С. 59-63.
13. *Михайлов А.В.* Формирование и эффективное использование машинного парка торфодобывающих компаний / А.В. Михайлов, С.Л. Иванов, В.В. Габов // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело, 2015, Т. 14, С. 82-91.
14. Small Wood Collector KPK-3. URL: http://www.peatmax.com/en/products/field%2bequipment/small%2bwood% 2bcollector%2bkpk-3.html (дата доступа 20 апреля 2019).

УДК 669.017

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛИ 12ХНВА ПОСЛЕ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ ЗАКАЛКИ И НИЗКОГО ОТПУСКА

Аникина Мария Алексеевна,
Гарбузова Юлия Сергеевна,
Жигайлова Диана Александровна,
Февралева Валерия Сергеевна,
группа МНМ-16,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра МиТХИ

Аннотация. Закалка стали состоит из трёх этапов: нагрева, выдержки и охлаждения. Последний этап особенно важен, так как при нем формируются свойства изделия. Охлаждение обычно проводят в воде или масле. Охлаждение в воде в ряде случаев может привести к трещинообразованию и короблению изделий. Закалка в масле для низкоуглеродистых и низколегированных сталей не обеспечивает нужной прокаливаемости по сечению изделия. Для уменьшения склонности к трещинообразованию и короблению в ряде случаев применяется так называемая закалка «через воду в масло».

Ключевые слова: закалка; прокаливаемость; коробление; твердость; ударная вязкость

STUDY ON MECHANICAL PROPERTIES OF STEEL 12XHBA AFTER DIFFERENT MODES OF QUENCHIG AND LOW SICK LEAVE

Anikina Maria Alekseevna,
Garbuzova Yulia Sergeevna,
Zhigailova Diana Aleksandrovna,
Fevraleva Valeriya Sergeevna,
group MNM-16,
Saint-Petersburg Mining University,
Department MiTHI

Abstract. Steel hardening consists of three stages: heating, holding and cooling. The last stage is especially important, as it forms the properties of the product. Cooling is usually carried out in water or oil. Cooling in water in some cases can lead to cracking and warping of products. Quenching in oil for low-carbon and low-alloy steels does not provide the necessary hardenability across the cross section of the product. To reduce the tendency to cracking and warping in some cases, the so-called hardening "through water into oil" is used.

Keywords: hardening; hardenability; buckling; hardness; impact strength

В данной работе было исследовано влияние закалочной среды на свойства (твердость HRC, ударная вязкость КСТ) стали 12ХНВА.

Исследованию подвергались шесть образцов, по два на каждый режим закалки. Использовались образцы с концентратором напряжений вида Т: острый надрез с инициированной трещиной. Глубина надреза 2 мм, трещины – 1,5 мм.

После нагрева образцов в лабораторной камерной печи SNOL 40/1200 до 910 °С и последующего охлаждения в воде, в масле и «через воду в масло», были проведены измерения твердости. Далее проведен низкий отпуск при 200 °С в течение 1 часа, повторно измерена твердость и проведены испытания на ударную вязкость КСТ.

Результаты измерения твердости на разных этапах исследования, а также ударной вязкости образцов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерения твердости

Номер образца	Закалочная среда	Твердость HRC до закалки	Твердость HRC после закалки	Твердость HRC после отпуска	Ударная вязкость КСТ
1,2	Вода	32,5	37,0	35,0	74
3,4	Масло		34,0	34,0	48
5,6	Через воду в масло		32,5	33,0	50

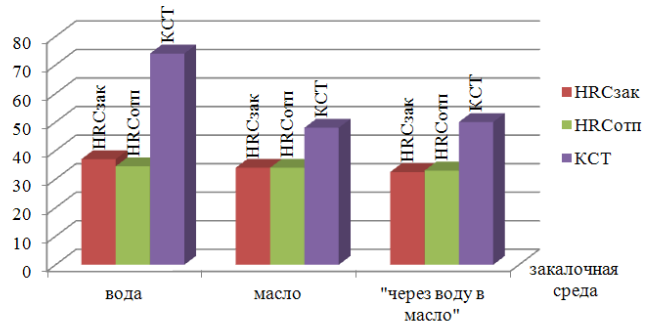


Рис. 1 - График зависимости твердости и ударной вязкости образцов от режима закалки

По результатам табл. 1 построен график зависимости твердости и ударной вязкости от закалочной среды (рис. 1).

Исходя из графика видно, что наибольшая ударная вязкость наблюдается у образцов закаленных в воде. Однако, как уже было сказано выше, при закалке в воде повышается вероятность трещинообразования и коробления. Закалка в масле, в ряде случаем, не может обеспечить требуемой прокаливаемости.

Вывод: В результате проведения эксперимента установлено, что при закалке «через воду в масло», обеспечивающей достаточную прокаливаемость, при примерно равной твердости наблюдаются более высокие значения ударной вязкости по сравнению с закалкой в масло. Это позволяет рекомендовать данный режим охлаждения для термической обработки изделий из стали 12ХНВА для промышленного применения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Солнцев Ю.П.* Материаловедение: учебник для вузов / Ю.П. Солнцев, Е.И. Пряхин, Ф. Войткун. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2014. - 784 с.
2. *Арзамасов Б.Н.* Материаловедение: учебник для высших технических учебных заведений / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макаров, Г.Г. Мухин. - М.: Машиностроение, 2010. - 384 с.

УДК 533.9.01

ИНТЕГРАЦИЯ МИКРОПЛАЗМЕННОГО СЕНСОРА CES В НЕФТЕГАЗОВУЮ И ГОРНОДОБЫВАЮЩУЮ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Арсланова Фатима Гаджиевна,
Каменев Егор Николаевич,
Одинцов Егор Евгеньевич,
группы ПМК-16, ГГ-17-1, ГГ-17-1,
Санкт-Петербургский горный университет

Аннотация. Микроплазменный сенсор CES (Collision Electron Spectroscopy) – многофункциональный прибор с уникальными характеристиками, которые находят применение в разных отраслях промышленности [1]. Исключением не стала и горнодобывающая промышленность. При помощи детектора CES, принцип работы которого основан на методе электронной столкновительной спектроскопии, становится возможным проведение буровзрывных работ и построение аэроэкологической карты. Сенсор фиксирует концентрации заданных молекул в воздухе и сравнивает с установленными нормальными значениями на предмет превышения. Такой подход к проведению буровзрывных работ снижает риск возникновения производственной чрезвычайной ситуации и позволяет стать сенсору CES портативным индивидуальным средством защиты персонала на опасном промышленном объекте горнодобывающей промышленности.

Ключевые слова: микроплазменный фотоионизационный сенсор; молекулы; анализ; прибор; области применения; концентрации

INTEGRATION OF MICROPLASMA SENSOR CES INTO OIL AND GASINDUSTRY AND MINING INDUSTRY

Arslanova Fatima Gadzhievna,
Kamenev Egor Nikolaevich,
Odintsov Egor Evgenievich,
group PMK-16, GG-17-1, GG-17-1,
Saint-Petersburg Mining University

Abstract. The microplasma sensor CES (Collision Electron Spectroscopy) developed by a plasma research group at the Saint Petersburg Mining University is a multifunctional device with unique characteristics that allow to use it in various industries [1]. The mining industry is not exception. With the help of the CES detector, which is based on the method of electron collisional spectroscopy, it becomes possible to do drilling and blasting operations and make an aeroecological

map. The sensor registers the concentrations of the specified molecules in the air and compares it with the established normal values. Such an approach to drilling and blasting operations reduces the risk of emergency and allows the sensor CES to become a portable personal protective device for stuff at a hazardous industrial mining facility.

Keywords: microplasma photoionization sensor; molecules; analysis; device; application; concentration

Группой плазменных исследований Санкт-Петербургского Горного университета разрабатываются методы диагностики и новые плазменные нанотехнологии для создания материалов, существенно улучшающих чувствительность микроплазменных детекторов [2].

На данном этапе исследовательский работ была разработана принципиальная схема ВУФ-фотоионизационного детектора с источником ультрафиолетовых фотонов в миниатюрной газоразрядной трубке; трубка выполнена из кристаллического стекла и заполнена Kr-He смесью для воспроизведения резонансного излучения криптона на атомных линиях 116,48 нм (10,64 эВ) и 123,58 нм (10,03 эВ); внутри 16-миллиметровой стеклянной колбы установлены цилиндрический катод и анод; при этом напряжение разряда – 450 В, напряжение нагревательного элемента – 220 В, ток разряда – 3 мА, потребляемая мощность менее – 1 Вт [3]. Выбран оптимальный режим работы, при котором инертный газ в газоразрядной камере находится под давлением 102 Па, напряжение разряда 300-500 В и ток разряда около 10 мА [4].

Модель системы с микропроцессором изготовлена на основе микроконтроллера ADuC 841; данная плата непрерывно контролирует систему зажигания разряда на высоковольтном преобразователе постоянного тока и блок пошагового цифрового сканирования напряжения на катоде в диапазоне 0-5 В (с шагом сканирования 0,01 V – АЦП, обеспечивающим оцифровку фототока с частотой до 300 кГц и усреднение полученных образцов) A10A. Программное обеспечение для микроконтроллера ADuC-841 было разработано на языке ассемблера, что позволило определить предел сканирования напряжения на катоде, шаг сканирования, длительность интервала измерения фототока на каждом этапе сканирования, а также количество повторений фототока.

Работу выхода электронов удалось снизить до 1 эВ благодаря инновационному графеновому покрытию на стенках электродов. Это покрытие может быть использовано и в прочих плазменных энергетических системах для повышения точности приборов [5].

Предлагаемый ультракомпактный фотоионизационный анализатор, разработанный группой плазменных исследований Санкт-Петербургского Горного университета [6-12], ввиду уникальности используемых технологий CES Collision Electron Spectroscopy) является обладателем патентов в России, США, Китае, Японии.

Предложенный метод CES позволил разработать портативный индивидуальный газовый анализатор с розничной ценой в 800 долларов США, что в сравнении с самыми дешевыми аналогами, имеющими схожую техническую сложность, показывает, что предложенная цена является самой привлекательной.

Дальнейшее развитие этого исследования предполагает уменьшение размеров и увеличение точности устройства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Mustafaev A.* Ultra-compact photoionization analyzer. Ecological monitoring application at hazardous production facilities / A. Mustafaev, I. Rastvorova, F. Arslanova // 59th Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics. DPP-2017. October, 2017.
2. *Smerdov R.* Porous silicon and graphene composite materials for novel nanoenergetic systems / R. Smerdov, A. Mustafaev, Y. Spivak, V. Moshnikov, V. Soukhomlinov // Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Electrical Engineering and Photonics, 2018.
3. *Mustafaev A.* Micro-plasma detector based on Collisional Electron Spectroscopy (CES) method for gas mixtures diagnostics / A. Mustafaev , A. Tsyganov // Contr. paper of 30th ICPIG, Belfast, Northen Ireland, UK, 2011, B6.
4. *Mustafaev A.* On accuracy of CES microplasma and VUV photoionization spectra determination / A. Mustafaev, A. Tsyganov et al. // Contr. paper of 55th Meeting of the APS Division of Plasma Physics, 2013, C. 387-392;
5. *Smerdov R.S.* Porous silicon and graphene-based composite nanostructures for plasma energy systems / R.S. Smerdov, A.S. Mustafaev, Yu.M. Spivak, V.A. Moshnikov // 45th EPS Conference on Plasma Physics, 2018.
6. *Mustafaev A.S.* Microplasma analyzer based on collisional electron spectroscopy (CES) / A.S. Mustafaev, G.Y. Panasyuk, A.B. Tsyganov // Contr. paper of 40th European Physics Society Conference on Plasma Physics, Helsinki, Finland, 2013, Vol. 4, C. 12-16.
7. *Mustafaev A.* On accuracy of CES microplasma and VUV photoionization spectra determination / A. Mustafaev , A. Tsyganov et al. // Contr. paper of 55th Meeting of the APS Division of Plasma Physics, Denver, CO, USA, 2013, C. 387-392.
8. *Mustafaev A.* Microplasma analyzers for continuous personal biomedical diagnostics / A. Mustafaev, E. Maximova, J. Rastvorova, A. Chirtsov, A. Tsyganov // The Proceedings of 2nd International Scientific Symposium "Sense. Enable. SPITSE.", St. Petersburg Electro Technical University "LETI", St. Petersburg, Russia, 2015, C. 210-213.
9. *Mustafaev A.* Photoionization sensor CES for non-invasive medical diagnostics / A. Mustafaev, I. Rastvorova, K. Khobnya, S. Podenko // 58th Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics, San Jose, CA, USA, 2016, – Vol. 61 (18).

10. *Mustafaev A.* Photoionization sensors for non-invasive medical diagnostics / A. Mustafaev, I. Rastvorova, K. Khobnya, S. Podenko // 69th Annual Gaseous Electronics Conference, Bochum, Germany, 2016. – Vol. 61 (9).
11. *Растворова Ю.В.* Фотоионизационный микроплазменный сенсор / Ю.В. Растворова, А.С. Мустафаев, С. Поденко, К.Ю. Хобня // Сборник трудов Международной молодежной конференции ФизикА, 2016.
12. *Mustafaev A.* Micro-plasma detector based on Collisional Electron Spectroscopy (CES) method for gas mixtures diagnostics / A. Mustafaev, A. Tsyganov // Contr. paper of 30th ICPIG, Belfast, Northen Ireland, UK, 2011.

УДК 621.642.07

ПОДЗЕМНОЕ ХРАНИЛИЩЕ СПГ В ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

Ахмеров Эрик Викторович,
группа НХМ-17,
Санкт-Петербургский горный университет, кафедра транспорта и хранения нефти и газа

Аннотация. На сегодняшний день существует единственный способ хранения больших объемов сниженного природного газа (СПГ) – изотермический. Однако существует множество типов конструкций хранилищ, выбор которого, помимо учета технико-экономического аспекта, должен осуществляться с учетом множества условий, таких как: особенности местности, геологии, экологии и безопасности. Поэтому каждый создаваемый проект хранилища СПГ является в какой-то области уникальным. Для условий крайнего севера, где грунты находятся в вечномерзлом состоянии можно успешно реализовать проект подземного резервуара, внешней оболочкой которого будет выступать кольцо холода, образуемое хранимым продуктом. Предложенный вариант поможет достигнуть существенного снижения затрат на сооружение железобетонной и теплоизоляционной оболочки.

Ключевые слова: СПГ; низкотемпературное хранилище; подземное хранилище; кольцо холода; резервуары СПГ; подземные хранилища СПГ; типы резервуаров СПГ; термосифоны

LNG UNDERGROUND STORAGE IN PERMAFROST

Akhmerov Erik Viktorovich,
group NHM-17,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Transport and Storage of Oil and Gas

Abstract. Today, there is the only way to store large volumes of reduced natural gas (LNG) - isothermal. However, there are many types of storage structures, the choice of which, in addition to taking into account the technical and economic aspect, should be carried out taking into account a variety of conditions, for example, such as: terrain features, geology, ecology and safety. Therefore, each LNG storage project being created is unique in some area. For the conditions of the Far North, where the soils are in the permafrost state, you can successfully implement the project of an underground tank, the outer shell of which will be a cold ring formed by the stored product. The proposed option will help achieve a

significant reduction in the cost of building reinforced concrete and insulating sheath.

Keywords: LNG; low temperature storage; underground storage; cold ring; LNG tanks; underground LNG storage; types of LNG tanks; thermosyphons

Наиболее часто встречающиеся резервуары СПГ выполнены в наземном исполнении. Помимо них существуют подземные хранилища, которые отличаются повышенным уровнем защиты не только от аварийных ситуаций, возникающих при эксплуатации резервуарного парка, но и от природных катаклизмов (землетрясений, цунами и др.), а также от угроз, связанных с террористическими актами [1, 2].

Для подземных хранилищ, в отличие от наземных, возможно расположение на близком расстоянии друг к другу, позволяя тем самым сократить занимаемое пространство и возводить резервуарные парки на ограниченных площадях портовых зон [3, 4].

Конструктивно такие резервуары не сильно отличаются от наземных образцов. Внутренняя оболочка может быть, как мембранной, так и выполненной из хладостойкой стали, наружная – из железобетона, а пространство между ними может быть заполнено теплоизоляционными материалами. Подбор компонентов в каждом случае индивидуален для каждого проекта и выбирается на основании технико-экономического анализа [5–7].

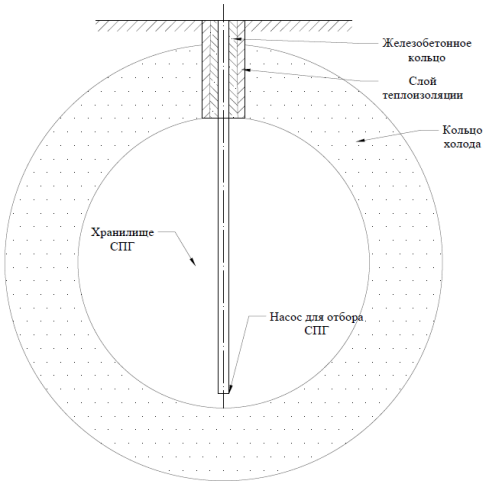


Рис. 1 - Схематическое изображение подземного резервуара в вечномерзлом грунте

Наряду с масштабным освоением арктического шельфа, возникает необходимость в разработке новых технологий хранения СПГ, которые будут экономически оправданы в условиях крайнего севера. Одним из вариантов для разработки является подземное хранение, размещенное непосредственно в вечномерзлых грунтах. Такой грунт обладает необходимым запасом прочности так как, все время находится под воздействием отрицательных температур, а также свойствами, которые при определенных условиях позволят сооружать резервуары больших объемов [8].

Отличительной особенностью таких резервуаров (рис. 1) является снижение затрат на сооружение железобетонной и теплоизоляционной оболочки. При заполнении резервуара будет образовываться кольцо холода [9], которое в дальнейшем будет поддерживаться буферным объемом СПГ. Кольцо будет снижать теплообмен извне с хранящейся жидкостью, тем самым уменьшая величину испарения продукта, и не допускать повышение

температуры грунта вокруг выработки, сохраняя прочностные характеристики мерзлой породы.

Для поддержания кольца холода вокруг подземного резервуара выполняется кольцевой трубопровод, предназначенный для паров СПГ, выделяющихся при испарении. Принцип работы такой конструкции будет заключаться в отборе паров из резервуара с температурой -70°С насосом и циркуляции вокруг хранилища, тем самым обеспечивая дополнительное поддержание охлажденного состояния хранилища.

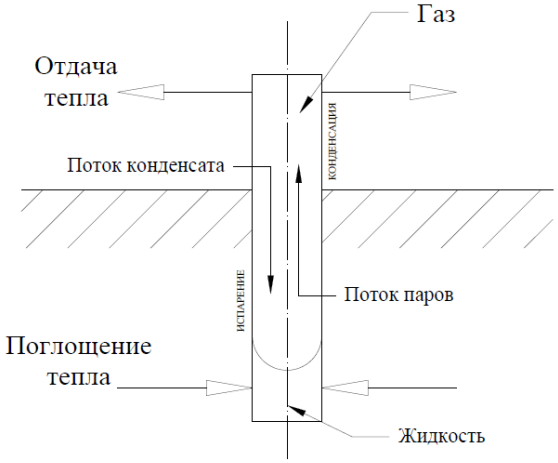


Рис. 2 - Схема охлаждающего устройства

Для обеспечения основного охлаждения также возможно использовать охлаждающие устройства (ОУ) или термосифоны, цель которых состоит в поддержании отрицательной температуры грунта.

Конструктивно ОУ представляют собой герметичную трубку (рис. 2) с хладагентом (углекислота), состоящую из двух секций: испарительная, размещаемая в грунте, и радиаторная, расположенная на поверхности.

При снижении температуры окружающей среды относительно температуры грунта пары хладагента начинают конденсироваться в верхней части устройства, в результате чего понижается давление и хладагент в нижней части начинает вскипать и испаряться. Этот процесс сопровождается переносом тепла из испарительной части в радиаторную [10 – 14].

Также стоит отметить, что отличительной способностью такого метода охлаждения породы является автономность и независимость от источников электроэнергии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1.*Воронов В.А.* Обеспечение экологической и пожарной безопасности хранения сжиженного природного газа в криогенных резервуарах / Е.А. Любин, Е.Ю. Загороднева // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2015, Т. S7, С. 759-767.

2. *Ильинский А.А.* Транспорт и хранение промышленных сжиженных газов. – М.: «Химия», 1976. - 160 с.

3. *Федорова Е.Б.* Современное состояние и развитие мировой индустрии сжиженного природного газа: технологии и оборудование. – М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2011. - 159 с.

4. *Trocquet B.* The Latest in Floating LNG Technologies / B. Trocquet, S. Worthington // Proceedings of International Conference «GasTech 2008», 2008.

5. *Бармин И.В.* Сжиженный природный газ вчера, сегодня, завтра / И.В. Бармин, И.Д. Кунис. Под ред. А.М. Архарова. – М.: Из-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 256 с.
6. *Ханухов Х.М.* Конструкционные методы снижения риска при эксплуатации изотермических резервуаров для хранения СПГ / Х.М. Ханухов, А.В. Алипов, Н.В. Четвертухин, А.В. Коломыцев, Р.Р. Шигапов // Вести газовой науки, 2017, Т.1(29), С. 249-258.
7. *Иванцова С.Г.* Анализ технических решений при изготовлении и строительстве мембранных изотермических резервуаров сжиженного природного газа / Проектирование, сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ, 2018, Т. 2, С. 44-48.
8. *Рачевский Б.С.* Сжиженные углеводородные газы. – М.: Изд-во «НЕФТЬ и ГАЗ», 2009. – 640 с.
9. *Park E.-S.* Innovative Method of LNG Storage in Underground Lined Rock Caverns / E.-S. Park, S.-K. Chung, D.-H. Lee, T.-G. Kim // Natural Gas Extraction to End Use, 2012, С. 159 – 180.
10. *Ананьев В.В.* Располагаемая теплопередающая способность сезонных охлаждающих устройств. Конденсатор / Решетневские чтения, 2012, С. 45–46.
11. *Ананьев В.В.* Термостабилизация грунтов с помощью низкотемпературных природных хладагентов // Решетневские чтения, 2017, С. 61-62.
12. *Ананьев В.В.* Моделирование двухфазного термосифона // Решетневские чтения, 2015, С. 62-65;
13. *Комаров И.А.* К проблеме использования хладоресурса сжиженного природного газа для целей термостабилизации грунтов / И.А. Комаров, В.В. Ананьев, Д.Д. Бек // Криосфера Земли, 2015, Т. XIX(2), С. 75–80.
14. *Улитин В.В.* Моделирование теплофизических процессов в мерзлых грунтах методом элементарных объемов / В.В. Улитин, В.В. Ананьев, Г.П. Шамин // Решетневские чтения, 2014, С. 110-113.

УДК 621.311.01

СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЗАЩИТЫ ОТ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ ПРЕДПРИЯТИЙ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА

Бабырь Кирилл Валерьевич,
группа ЭРС-14,
Санкт-Петербургский горный университет, кафедра электроэнергетики и электромеханики

Аннотация. В данной статье представлены результаты исследований устойчивости функционирования защиты от однофазных замыканий на землю распределительных сетей 6–10 кВ горнодобывающих предприятий. На основе анализа полученных результатов установлено, что в условиях высокой неоднородности конфигурации сетей 6–10 кВ применяемые токовые защиты от однофазных замыканий на землю не позволяют обеспечить необходимую чувствительность и селективность поврежденного присоединения. Применение разделительных трансформаторов на отходящих линиях с большим коэффициентом долевого участия емкостного тока линии в общем токе замыкания на землю позволит повысить чувствительность действия защиты на отходящих присоединениях. Выявлено, что токовые защиты, в условиях кратковременных замыканий на землю, не могут выявить опасные кратковременные замыкания на землю и не способны решить задачу действия защиты, работа на сигнал или на отключение. В целях обеспечения устойчивого функционирования защиты в условиях кратковременного замыкания фазы электрической сети на землю разработана функциональная схема и алгоритм действия защиты, позволяющий определить опасные и неопасные кратковременные замыкания на землю и обеспечить селективное действие защиты.

Ключевые слова: электрическая сеть; однофазное замыкание на землю; коэффициент чувствительности; разделительный трансформатор; небаланс; защита от кратковременных замыканий.

WAYS OF ENSURING THE EFFICIENCY OF PROTECTION AGAINST SINGLE-PHASE EARTH FAULT OF THE ENTERPRISES OF MINERAL-RAW COMPLEX

Babyr Kirill Valeryevich
group ERS-14
Saint-Petersburg Mining University,
Department of electric power engineering
and electromechanics

Abstract. This article presents the results of studies of the stability of the protection against single-phase earth fault distribution networks 6 – 10 kV mining enterprises. Based on the analysis of the results obtained, it was found that in conditions of high heterogeneity of the configuration of 6 – 10 kV networks, the current protections against single-phase earth faults do not allow to provide the necessary sensitivity and selectivity of the damaged connection. The use of separation transformers on the outgoing lines with a high coefficient of up to-left participation of the capacitive current of the line in the total earth fault current will increase the sensitivity of the protection action on the outgoing connections. It is revealed that the current protection, in the conditions of short-term earth faults, can not detect dangerous short-time earth fault and are not able to solve the problem of action-shields, work on the signal or off. In order to ensure the stable operation of the protection in the conditions of short-circuit phase of the electrical network to the ground, a functional scheme and algorithm of the protection action is developed, which allows to determine the dangerous and non-dangerous short-circuit to the ground and to provide a selective action of protection.

Keywords: electric network; single-phase ground fault; coefficient sensitivity; isolation transformer; imbalance; protection short circuits.

Своевременно неустраненный режим однофазного замыкания на землю в последствии переходит в междуфазное короткое замыкание (30-35 % от общего числа ОЗЗ), что приводит к значительным экономическим ущербам вследствие выхода из строя дорогостоящего оборудования [1-4]. Для минимизации ущербов в электрических сетях 6-10 кВ по причине однофазных замыканий на землю необходимо применять эффективные средства релейной защиты и автоматики, позволяющие селективно выявлять поврежденное присоединение и своевременно устранять возникшее ОЗЗ путем отключения поврежденного участка сети [5-7].

Одним из решений проблемы повышения чувствительности действия защиты от однофазных замыканий на землю стало использование разделительных трансформаторов, предназначенных, в первую очередь, для потенциальной развязки электрической сети поверхностного и подземного комплекса [8]. Было предложено устанавливать их на линиях с наибольшим коэффициентом долевого участия в общем токе ОЗЗ (рис.1), что позволяет

увеличить соотношение между собственным емкостным током линии и суммарным током замыкания на землю сети, вследствие чего происходит повышение чувствительность действия защиты от ОЗЗ [8].

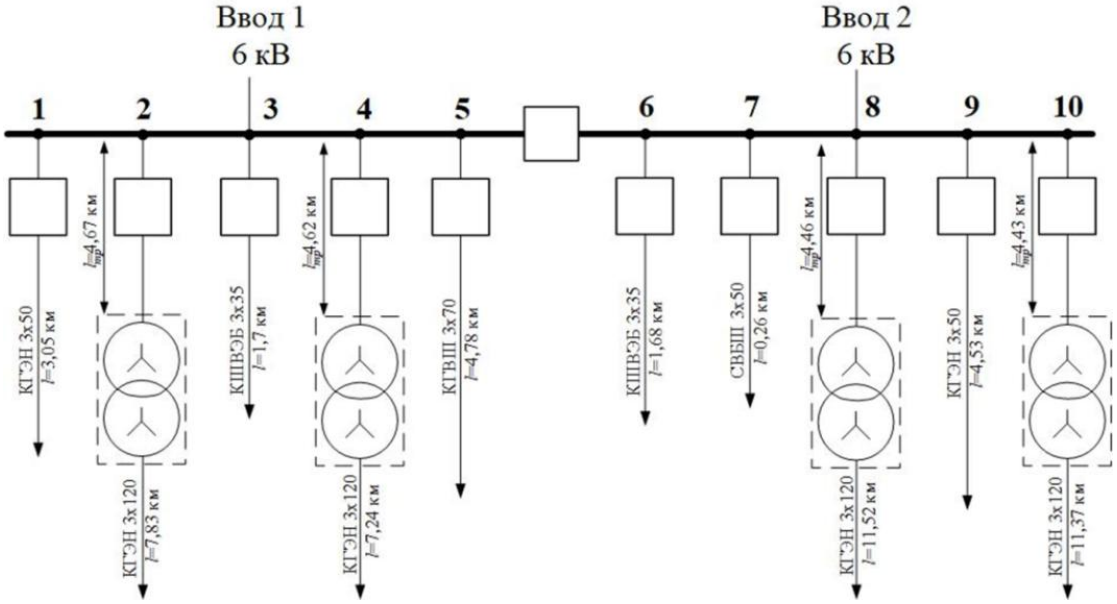


Рис. 1 - Упрощенная схема объекта 6 кВ угледобывающего предприятия с указанием места установки разделительных трансформаторов

В результате исследований эффективности функционирования защиты от ОЗЗ в электрических сетях среднего класса напряжения угольных предприятий были выявлены случаи неселективного действия защиты в нормальных режимах работы сети [9-12]. Основной причиной ложных срабатываний защиты являлся неучёт величин небалансов по току и напряжению нулевой последовательности при расчете и выборе уставок защиты [13-15]. В этой связи была разработана методика определения небалансов по току и напряжению в зависимости от причин, вызывающих их возникновение, а так же было установлено, что с целью исключения вероятности возникновения ложных срабатываний защиты от ОЗЗ, необходимо выбор тока срабатывания осуществлять с учетом возможных небалансов по следующему выражению:

$$I_{сз} \geq I_{\sum НБ} = k_н \cdot (I_{нб.ТТНП}(+I_{нб.ФТНП}) + I_{нб.ЭДС} + I_{нб.смеж.} + I_{нб.конт.соед.}),$$

где: $k_н$ – коэффициент надёжности равный 1,5; $I_{нб.ТТНП}(I_{нб.ФТНП})$ – ток небаланса, вызванный кабельными ТТНП; $I_{нб.ЭДС}$ – ток небаланса, вызванный смещением нейтрали сети из-за несимметрии фазных ЭДС источника питания; $I_{нб.смеж}$ – ток небаланса, вызванный влиянием параллельных линий; $I_{нб.конт.соед.}$ – небаланс токов НП в защитах, установленных на пучках кабелей, и вызванные нарушением контактных соединений.

В ходе дальнейших исследований были выявлены неселективные срабатывания защиты от однофазных замыканий на землю при

кратковременных однофазных замыканиях (КрОЗЗ) [16, 17]. Одиночные КрОЗЗ, сопровождающиеся значительными по продолжительности бестоковыми паузами, не представляют большую опасность для электрической сети, но цепочка из постоянно появляющихся и исчезающих ОЗЗ (рис. 2) предшествует появлению большинства устойчивых и дуговых замыканий на землю.

Рис. 2 - Осциллограмма действующего значения тока нулевой последовательности поврежденной линии в режиме КрОЗЗ

С целью организации селективного действия защиты разработан алгоритм действия, позволяющий фиксировать появления КрОЗЗ за определенный участок времени, сигнализировать о наличии неопасных КрОЗЗ и отключать опасные КрОЗЗ, а также отключать металлические, дуговые и возникающие через переходное сопротивления замыкания.

Разработанная методика выбора уставок и проверки чувствительности действия защиты от ОЗЗ в условиях высокой неоднородности электрической сети и существования небалансов по току и напряжению нулевой последовательности, а также разработанный алгоритм действия защиты, обеспечивающий селективное выявление поврежденного присоединения в условиях возникновения разных режимов ОЗЗ позволяют повысить эффективность функционирования предприятий минерально-сырьевого комплекса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамович Б.Н.* Система бесперебойного электроснабжения предприятий горной промышленности / Б.Н. Абрамович // Записки Горного института, 2018, Т. 229, С. 31-40.
2. *Gukovskiy Y.L.* The automatic correction of selective action of relay protection system against single phase earth faults in electrical networks of mining enterprises / Y.L. Gukovskiy, Y.A. Sychev, D.N. Pelenev // International Journal of Applied Engineering Research. Research India Publications, 2017, Vol. 12, C. 833-838.
3. *Abramovich B.N.* Invariant protection of high-voltage electric motors of technological complexes at industrial enterprises at partial single-phase ground faults / B.N. Abramovich, Y.A. Sychev, D.N. Pelenev // International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems 2017 - The Electric

Drive in Mechanical Engineering. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, С. 052027.
4. *Пеленев Д.Н.* Система автоматической коррекции селективности действия защиты от однофазных замыканий на землю распределительных сетей 6-35 кВ предприятий минерально-сырьевого комплекса / Д.Н. Пеленев, Б.Н. Абрамович, Ю.А. Сычев // Горное оборудование и электромеханика, 2017, Т. 1 (128), С. 12-16.
5. *Абрамович Б.Н.* Обеспечение безопасности электроснабжения горных предприятий путем совершенствования защиты от однофазных замыканий на землю / Б.Н. Абрамович, Д.Н. Пеленев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2017, Т. S5 (1), С. 252-261.
6. *Жуковский Ю.Л.* Адаптивное управление режимом нейтрали распределительных сетей 6-35 кВ предприятий минерально-сырьевого комплекса / Ю.Л. Жуковский, Д.Н. Пеленев // Международный научно-исследовательский журнал, 2016, Т. 5-3 (47), С. 103-106.
7. *Пеленев Д.Н.* Инвариантная токовая защита от однофазных замыканий на землю для электрических сетей 6...35 кВ / Д.Н. Пеленев // Горное оборудование и электромеханика, 2014, Т. 9 (106), С. 16-20.
8. *Пеленев Д.Н.* Повышение чувствительности защиты от однофазных замыканий на землю электрических сетей 6-10 кВ угольных предприятий / Д.Н. Пеленев, К.В. Бабырь, В.В. Бабырь // Горное оборудование и электромеханика, 2017, Т. 3, С 24 - 27.
9. Пат. 2578123 Российская Федерация, МПК H02H 3/16. Устройство защиты электрических сетей от однофазных замыканий на землю / Б.Н. Абрамович, Ю.Л. Жуковский, Д.Н. Пеленев // заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский горный университет. - № 2015104212/07; заявл. 09.02.2015; опубл. 20.03.2016, Бюл. № 8–7 с.
10. Пат. 168498 Российская Федерация, МПК H02H 3/16 G01R 31/08. Устройство защиты электрических сетей среднего напряжения от однофазных замыканий на землю / Б.Н. Абрамович, Ю.А. Сычев, Д.Н. Пеленев // заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский горный университет. - № 2016144542; заявл. 14.11.2016; опубл. 07.02.2017, Бюл. № 4–7 с.
11. *Pelenev D.N.* Organization of selective protection against single-phase ground faults in autonomous power supply networks of oil production facilities / D.N. Pelenev, B.N. Abramovich, A.V. Turysheva, K.V. Babyr // Proceedings of the 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus, 2019, С. 1025-1028.
12. *Pelenev D.N.* Study of the efficiency of the invariant protection against single-phase ground faults in the microprocessor terminals / D.N. Pelenev, B.N. Abramovich, Y.A. Sychev, K.V. Babyr // Proceedings of the 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus, 2019, С. 624-629.

13. *Шуин В.А.* Адаптивные токовые защиты от замыканий на землю в кабельных сетях 6-10 кВ / В.А. Шуин, О.А. Добрягина, Е.С. Шагурина, Т.Ю. Шадрикова // Электрические станции, 2018, Т. 7 (1044), С. 38-45.
14. *Шуин В.А.* Принципы выполнения адаптивной токовой защиты от замыканий на землю в некомпенсированных кабельных сетях напряжением 6-10 кВ / В.А. Шуин, О.А. Добрягина, Т.Ю. Шадрикова, Е.А. Воробьева // Вестник Ивановского государственного энергетического университета, 2018, Т. 3, С. 29-37.
15. *Бухтояров В.Ф.* Защита от замыканий на землю электроустановок карьеров / В.Ф. Бухтояров, А.М. Маврицын. - М.: Недра, 1986, 184 с.
16. *Сапунков М.Л.* Характеристика токовых защит от однофазных замыканий на землю электрических сетей 6-10 кВ горных предприятий / Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромыслового оборудования, 2015, Т. 1, С. 247-256.
17. *Сапунков М.Л.* Обоснование нового способа токовой защиты от замыканий на землю для рудничных электрических сетей напряжением 6...10 кВ / Горное оборудование и электромеханика, 2015, Т. 9 (118), С. 32-36.

УДК 622.331

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ФРЕЗЕРА МТФ-14

Безматерных Анастасия Владимировна,
группа ТТМ-17,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. Как показывает практика, для обеспечения эффективной работы технологических машин, в том числе и торфяных, необходимо, чтобы сохранялась работоспособность не только исполнительных механизмов, но и самой трансмиссии машины. Таким образом для обеспечения работоспособности торфяных машин требуется обеспечить работоспособность зубчатых передач торфяной машины.
Анализ статистики отказов зубчатых передач показал, что основной причиной выхода их из строя является износ рабочей поверхности зубьев. Для повышения долговечности зубчатых передач торфяных машин применяются различные эксплуатационные и конструкторско-технологические методы, включающие в себя комплекс мероприятий, направленных на обеспечение достаточной износостойкости поверхности и оптимизации геометрических параметров зубьев. В качестве технологического метода предложена технология обкатывания зубьев механическим инструментом в горячем состоянии. Представлены результаты такой обработки.

Ключевые слова: торфяная машина; зубчатая передача; коррегирование зубьев; износ зубьев; высокотемпературная термомеханическая обработка

INCREASE OF WEAR RESISTANCE OF GEARS THE PEAT MILL MTF-14

Bezmaternykh Anastasiya Vladimirovna,
group TTM-17,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. As practice shows, to ensure the effective operation of technological machines, including peat, it is necessary that not only the actuators, but also the transmission of the machine itself remain operable. Thus, to ensure the efficiency of peat machines, it is required to ensure the operability of the gears of the peat machine.
Analysis of the statistics of failures of gears showed that the main cause of their failure is wear of the working surface of the teeth. To increase the durability of gears of peat machines, various operational and design-technological methods are

applied, including a set of measures aimed at ensuring sufficient surface durability and optimizing the geometrical parameters of the teeth. The technology of rolling teeth with a mechanical tool in a hot condition is proposed as a technological method. The results of such processing are presented.

Keywords: peat machine; gearing; tooth correction; tooth wear; high-temperature thermomechanical treatment

В современных условиях добыча торфа осложнена рядом факторов, таких как, климатические условия, техника, используемая при добыче. В связи с неоднородностью торфяной залежи трансмиссии торфяных машин подвергаются значительным динамическим нагрузкам [2, 5, 6].

Причиной тому могут быть влияния твердых включений в поверхности торфяной залежи на исполнительный орган машины, несовершенство конструкции зубчатых колес, а также несовершенство технологии изготовления и ремонта, что в свою очередь приводит к внезапным отказам оборудования.

Анализ статистических данные о причинных об отказах торфяных машин позволяют с уверенностью утверждать о том, что основной причиной выходов из строя являются отказы механической части, около 60% из которых приходятся на износ рабочих поверхностей зубчатых колес [1, 3, 7].

Для обеспечения работоспособности торфяных машин требуется обеспечить работоспособность зубчатых передач торфяной машины. Повышение долговечности зубчатых передач трансмиссий торфяных машин возможно осуществить различными способами, включающими в себя комплекс конструкторских мероприятий или технологических методов, однако каждый из них по отдельности не дает необходимого повышения долговечности. Поэтому задача повышения долговечности зубчатых передач трансмиссий продолжает оставаться актуальной задачей [4, 8, 9].

Вопросами, связанными с повышением долговечности горных и торфяных машин занимались Антонов В.Я., Воларович М.П., Гамаюнов Н.И., Гаркунов Д.Н., Зайцев А.К., Зюзин Ф.С., Иванов И.П., Копенкин В.Д., Кудрявцев В.Н., Кузьмин И.С., Ларгин И.Ф., Малкин В.С., Молдавский Л.А. В их работах были рассмотрены основные способы повышение надежности деталей торфяных машин.

Вопросами влияния геометрических параметров зубчатых передач занимались Скундина Г.И., Рещикова В.Ф., Вулгаков Э.Б., Гавриленко В.А. Проблемами повышения долговечности трансмиссии зубчатых передач торфяных машин занимались Яковлева А.П., Баханович А.Г., Мендрух Н.В., Гашинский А.Г., Петелина Н.И., Морозихина И.К, Семенча П.В.

Проведя анализ литературных и патентных источников. Можно сделать вывод, что к основным направлениям теоретических и экспериментальных следует отнести вопросы связанные с повышением долговечности зубчатых передач путем корригирования, совершенствования технологии изготовления и восстановления, и совершенствования системы смазки.

Для повышения износостойкости зубчатых колес необходимо обосновать конструктивные особенности зубчатых колес торфяных машин и оценить технологию высокотемпературной термомеханической обработки зубьев, позволяющей повысить износостойкость и усталостную прочность на изгиб изменением структуры поверхностного слоя зубьев.

Применение высокотемпературной термомеханической обработки, по сравнению с вышеописанным методом упрочнения поверхностного слоя зуба позволяет, добиться более равновесной структуры, что ведет к улучшению механических свойств поверхностного и в значительной степени к снижению вероятности возникновения термической деформации.

Для подтверждения гипотезы был проведен эксперимент по результатам которого было установлено, что применение высокотемпературной термомеханической обработки позволяет, повысить контактную прочность зубчатых передач, по сравнению с низкотемпературной комбинированной обработкой

Придание зубу бочкообразной формы позволяет увеличить ресурс на 30%. Комбинированная высокотемпературная обработка приводит к улучшению геометрических характеристик шероховатости поверхности, а также к уменьшению концентрации напряжений на неровностях и снижению коэффициента трения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Маркин Ю.С.* Надежность зубчатых передач: научное издание / Ю.С. Маркин, П.П. Лезин, Н.И. Пителина. – Казань: КГЭУ, 2002, 308 с.
2. *Морозихина И.К.* Экспериментальное исследование влияния концентрации пыли в трансмиссионном масле на износ рабочих поверхностей зубьев // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2010, Т. 5, С. 74-76.
3. *Трифанов М.Г.* Оценка нагруженности приводов проходческо-очистных комбайнов «Урал» в реальных условиях эксплуатации / М.Г. Трифанов, Д.И. Шишлянников, С.Л. Иванов // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2018, Т. 1, С. 166–174.
4. Ivanov S.L. Manufacturing and design technology of Combined corrected gearing and nonstandard Radial clearance / S.L. Ivanov, P.V. Shishkin // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 194, 022013.
5. *Kokonkov A.A.* Autonomous complex module for peat development on watered deposits / A.A. Kokonkov, D.D. Liakh, S.L. Ivanov // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 194, 032011.
6. *Khudyakova I.N.* Raw peat production and processing from flooded fields and approaches to maintain dehydration/ I.N. Khudyakova, E. A. Vagapova, S.L. Ivanov // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 194, 032010.
7. *Zvonarev I.E.* Estimation of the Residual Operation Life Period of Mechanical Transmissions of Mining Machines by Means of Superficial Metal Hardness

Measurement in Increased Wear Areas of Their Parts / I.E. Zvonarev, S.L. Ivanov, D.I. Shishlyannikov // Practia Engineering, 2016, Vol. 150, C. 618-625.
8. *Zvonarev I.E.* Analysis of changes in hardness of a metal surface layer in areas of high stress and methods of determining residual life of parts for mining machines / I.E. Zvonarev, S.L. Ivanov // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2016, Vol. 116, 012006.
9. *Zvonarev I.E.* Evaluation of losses in transmission of machinery for development of mineral deposits in conditions of variable load / I.E. Zvonarev, S.L. Ivanov // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., 2017, Vol. 87, 022024.

УДК 621.1

ДИАГНОСТИКА ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ С СИСТЕМОЙ АКТИВНОГО МАГНИТНОГО ПОДВЕСА

Белова Светлана Александровна,
Наумова Анна Ярославна,
группа ЭХТ-16-2,
Санкт-Петербургский горный
университет, Нефтегазовый факультет

Аннотация. В нефтегазовой отрасли на компрессорных станциях все чаще используются газоперекачивающие агрегаты (ГПА) с центробежными нагнетателями, включающие в себя активные магнитные подшипники (АМП). В представленной статье выделены основные методы диагностики данного вида газоперекачивающих агрегатов, а также произведена оценка наиболее выгодного и подходящего метода.

Ключевые слова: газоперекачивающий агрегат; активные магнитные подшипники; техническая диагностика; датчики; авария

DIAGNOSTICS OF GAS-DISTRIBUTING UNITS WITH THE SYSTEM OF THE ACTIVE MAGNETIC SUSPENSION

Belova Svetlana Alexandrovna,
Naumova Anna Yaroslavna,
group EHT-16-2,
Saint-Petersburg Mining University,
Oil and Gas Department

Abstract. In the oil and gas industry at compressor stations compressor aggregate with centrifugal superchargers including the active magnetic bearings (AMB) are even more often used. In the submitted article the main methods of diagnostics of gas-distributing units of this type are allocated and also assessment of the most favorable and suitable method is made.

Keywords: gas-distributing unit; active magnetic bearings; technical diagnostics; sensors; accident

Несмотря на энергоэффективность и надежность газоперекачивающих агрегатов (ГПА) с системой активных магнитных подвесов (АМП) (рис.1) на компрессорных станциях, процессы, протекающие в агрегате формируют сложную динамическую картину изменений технического состояния ГПА.
В связи с этим диагностика рабочих и аварийных режимов функционально разделена (имеет индикацию и выход на интерфейс с «памятью»), что позволяет вывести агрегат в ремонт только тогда, когда его состояние

действительно будет отображать потребность в проведении ремонта, т.е. перейти от обслуживания по регламенту к обслуживанию по состоянию.

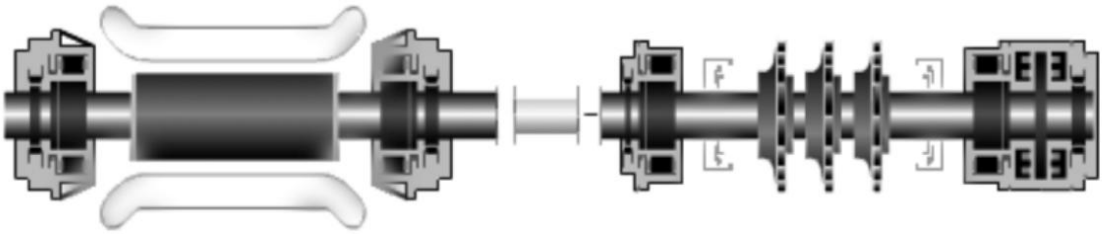


Рис. 1 - Схема расположения системы активных магнитных подвесов

Основываясь на данных по режимам работы и регулированию производительности ГПА с системой АМП можно выделить следующие основные виды отказов [1, 7-15]: остановка ротора двигателя, вследствие высоких нагрузок, которые приводят к нагреву и размагничиванию ведущего магнита; аварийная остановка агрегата, вследствие периодических увеличений амплитуды вибраций ротора, за счет недостаточной устойчивости системы «ротор-АМП»; образование скопления лишнего электрического заряда на вале ротора, так как магнитное поле может создать индукцию, ведущую к нагреванию механизма, а также к скоплению лишнего электрического заряда на вале ротора; дисбалансировка ротора, причинами которой могут являться не только неправильный расчет центр масс ротора, но и неравномерность намагниченности магнитов. Даже при слабых изменениях, при наборе оборотов, подвижная система может войти в резонанс с собственными колебаниями магнитной системы.

Для своевременного обнаружения неисправностей и предотвращения аварии проводятся три основных метода диагностики ГПА с АМП [5-7]:

1. *Вибрационный метод* – является одним из наиболее эффективных методов, однако требует применения дорогостоящего оборудования. При помощи данного метода определяется неуравновешенность ротора осевого компрессора, нагнетателя, разрушение подшипников, зубчатых соединений, входных направляющих аппаратов. В области низких частот (до 10 Гц) наиболее приемлемым критерием оценки изменения уровня вибрации является *вибросмещение*, в области высоких частот (от 1 кГц до 20 кГц) – *виброускорение*, в области частот от 10 Гц до 1000 Гц подобной мерой является величина *виброскорости*.

2. *Параметрическая диагностика* – диагностика по термогазодинамическим параметрам является одной из наиболее развитых направлений параметрической диагностики. Исходя из структуры объекта, методы термогазодинамической диагностики бывают *интегральными*, рассматривающими установку в целом, и *дифференциальными*, рассматривающими каждый элемент агрегата в отдельности.

3. *Трибологическая диагностика* – используется для определения состояния износа трущихся частей ГПА. Работы в области трибологии были направлены на создание и применение наиболее совершенной смазки.

Трибология помогает определить состояние износа трущихся частей ГПА по наличию химических примесей в масле. Например, содержание металлических частиц.

Таким образом, существуют различные методы диагностики технического состояния газоперекачивающих агрегатов с магнитным подвесом [3, 7-15]. Каждый из них имеет свои достоинства и недостатки, проанализировав источники и сопоставив с основными причинами аварий, для данного вида ГПА наиболее эффективен *вибрационный метод* (используется в 60–70 % случаях). Затем следует *параметрический метод* (20–25 % случаев). Наиболее неподходящим является *трибологический метод* (5–10 %), так как главной особенностью газоперекачивающих агрегатов с магнитным подвесом является отсутствие трения между ротором и статором.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Belova S.A.* Risk-oriented approach to ensuring safe operation of GPU with magnetic suspension / S.A. Belova, A.Y. Naumova // Materials of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration”, 2019, С. 269-274.
2. *Кистойчев А.В.* Диагностика и устранение низкочастотной вибрации на агрегатах с магнитным подвесом роторов / А.В. Кистойчев, Н.В. Машечкин, Е.Ф. Ковальчук // Конференция молодых ученых, 2016.
3. *Китаев С.В.* Основы технической диагностики объектов транспорта и хранения нефти и газа: Учебное пособие. – Уфа: УГНТУ, 2016.
4. *Урьев Е.В.* Концепция и реализация систем диагностики энергетического оборудования / Е.В. Урьев, Ю.Н. Агапитова // Труды второй международной научно-технической конференции Уральского отделения АИН РФ. Екатеринбург. УГТУ-УПИ, 2000.
5. ГОСТ Р 54404-2011. Агрегаты газоперекачивающие с газотурбинным приводом. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2012.
6. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2009.
7. *Бажин В.Ю.* Диагностика и оценка остаточного ресурса электромеханического оборудования компрессорных станций газопроводов / В.Ю. Бажин, М.Н. Назарова, С.С. Родин // В сборнике «Неделя науки СПбПУ». Научный форум с международным участием, материалы научно-практической конференции. Институт металлургии, машиностроения и транспорта, 2015, С. 55-57.
8. *Крюков О.В.* Повышение устойчивости работы электроприводов центробежных нагнетателей на компрессорных станциях ОАО «ГАЗПРОМ» / О.В. Крюков, С.Е. Степанов // Газовая промышленность, 2014, Т. 8 (710), С. 50-56.
9. *Крюков О.В.* Модернизация систем управления электроприводными газоперекачивающими агрегатами в условиях действующих компрессорных

станций / О.В. Крюков, С.Е. Степанов // В сборнике статей Международной научно-технической конференции «Проблемы автоматизации и управления в технических системах», 2013, С. 29-32.
10. *Захаров П.А.* Принципы инвариантного управления электроприводами газотранспортных систем при случайных возмущениях / П.А. Захаров, О.В. Крюков // Вестник Ивановского государственного энергетического университета, 2008, Т. 2, С. 98–103.
11. *Захаров П.А.* Методология инвариантного управления агрегатами компрессорных станций при случайных воздействиях / П.А. Захаров, О.В. Крюков // Известия вузов. Электромеханика, 2009, Т. 5, С. 64–70.
12. *Крюков О.В.* Инвариантные системы технологически связанных электроприводов объектов магистральных газопроводов / О.В. Крюков, С.Е. Степанов, Е.В. Бычков // Труды VIII Международной (XIX Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2014. Саранск, 2014, С. 409–414.
13. *Крюков О.В.* Частотное регулирование производительности электроприводных ГПА / Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2014, Т. 6, С. 39–43.
14. *Крюков О.В.* Регулирование производительности электроприводных газоперекачивающих агрегатов ПЧ / Компрессорная техника и пневматика, 2013, Т. 3, С. 21–26.
15. *Babichev S.A.* Automated monitoring system for drive motors of gas-compressor units / S.A. Babichev, P.A. Zakharov, O.V. Kryukov // Automation and Remote Control, 2011, T. 72 (6), C. 175-180.

УДК 621.313.8; 621.3.076.7

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС С МНОГОФАЗНЫМ ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ ПЕРВИЧНОГО ЭНЕРГОНОСИТЕЛЯ

Богданов Иван Андреевич,
аспирант,
Санкт-Петербургский горный университет

Аннотация. В статье рассмотрены различные методы повышения эффективности электротехнического комплекса, как за счет увеличения электрического КПД, так и общего коэффициента использования топлива (КИТ). Представлены математические модели реализации бинарного цикла генерации электрической энергии парогазовой системой и автоматического регулирования потоком охлаждающей жидкости для охлаждения воздуха на вход в газотурбинную установку.

Ключевые слова: тригенерация; бинарный цикл; система автоматического управления; газотурбинная установка

ENERGYEFFICIENT ELECTROTECHNICAL COMPLEX WITH MULTIPHASE TRANSFORMATION OF PRIMARY ENERGY CARRIER

Bogdanov Ivan Andreevich,
postgraduate student,
Saint-Petersburg Mining University

Abstract. The article describes various methods for improving the efficiency of the electrical complex, both by increasing the electrical efficiency and the fuel utilization efficiency (FUE). Mathematical models of binary cycle realization for generation of electric energy by steam-gas system and automatic control by a stream of cooling liquid for cooling of air on an input in a gas-turbine installation are presented.

Keywords: trigeneration, binary cycle, automatic control system, gas turbine unit

КИТ в тепловых электромеханических комплексах на основе газотурбинных установок не превышает 40%. Для повышения эффективности использования первичного энергоносителя путем генерирования тепловой энергии предусматривается бинарный режим, в котором энергия выхлопа преобразуется посредством паротурбинной установки. В этом случае преобразование частот и напряжений, при

параллельной работе генераторов газотурбинной и паротурбинной установок, может осуществляться с подключением их через соответствующие преобразования к общим шинам переменного или постоянного тока. Подобная система способна повысить реализацию энергии первичного энергоносителя до 55% (рис.1).

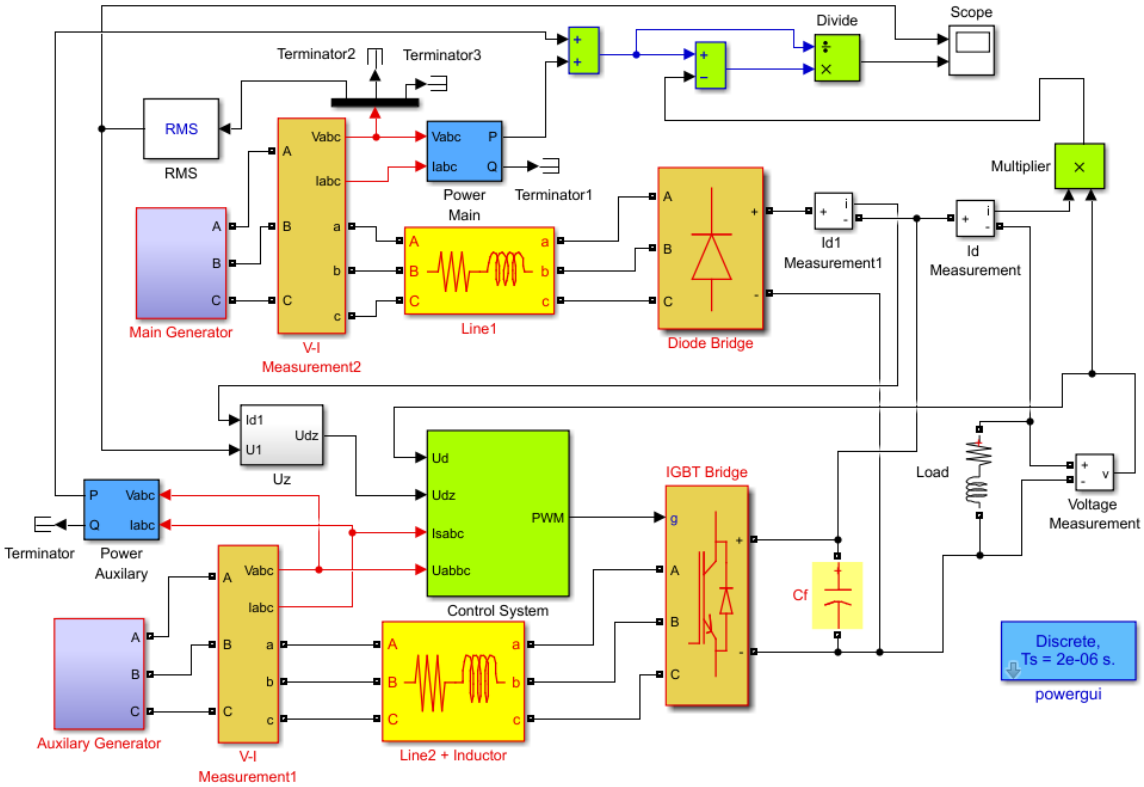


Рис. 1 - Модель бинарного цикла электротехнического комплекса в среде Matlab Simulink

В жаркие периоды имеется высокий показатель избытка тепловой мощности: ТЭЦ загружены не более 30%, котельные не более 15%. Помимо этого электрический КПД ГТУ способен снизиться до 28% при температуре воздуха на входе выше номинала равного 15°С (рис. 2).

Для поддержания данной температуры предлагается использовать систему генерации холода на основе абсорбционных холодильных машин (АБХМ) и разработанной системой автоматического регулирования подачи охлаждающей жидкости в теплообменный аппарат при изменении факторов, влияющих на температуру воздуха на входе в ГТУ (рис. 3).

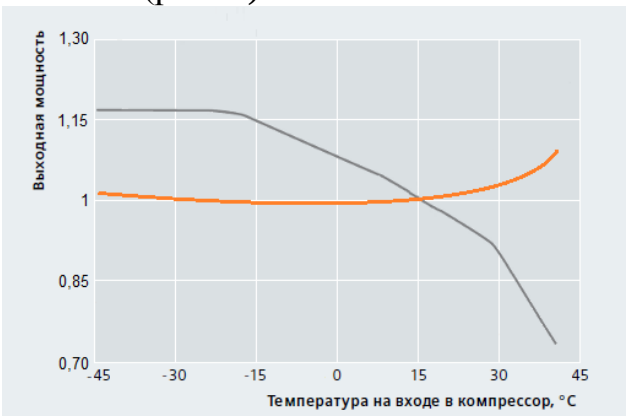


Рис. 2 - График зависимости показателей выходной мощности и удельного расхода тепла от температуры окружающей среды

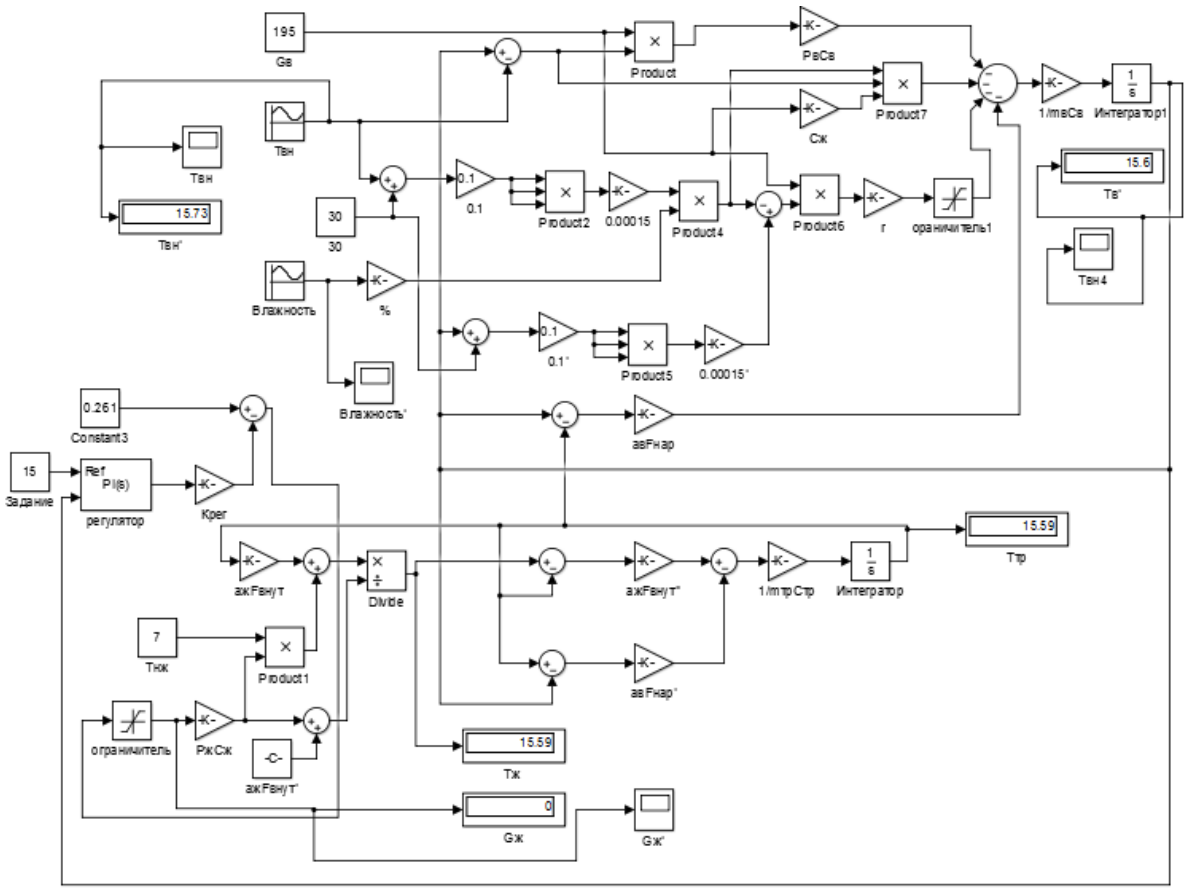


Рис. 3 - Модель системы автоматического регулирования потоком охлаждающей жидкости в среде Matlab Simulink

Таким образом предлагаемая система позволяет:

- Повысить эффективность пользования энергии газообразного топлива до 90%.;
- Предоставлять энергию для отопления помещений в холодный период и охлаждения через общую систему кондиционирования в жаркий;
- Повысить мощность генерируемой электроэнергии вдвое при условиях снижения КПД ГТУ в жаркий период и генерации дополнительной энергии ПГУ;
- Обеспечить непрерывный номинальный режим работы ГТУ;
- Снизать потребление первичного энергоносителя на 8% при повышении мощности ГТУ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамович Б.Н.* Повышение эффективности газо-турбинных установок в составе комплекса автономного электроснабжения / Б.Н. Абрамович, В.А. Моренов // Сборник материалов 11-ой конференции «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых». Москва, 2014, С. 182-185.

2. *Абрамович Б.Н.* Современные проблемы электротехнических наук: Учебное пособие / Б.Н. Абрамович, Ю.А. Сычев, Д.А. Устинов. - СПб.: Санкт-Петербургский государственный горный университет, 2012, 90 с.

3. *Алексиков А.И.* Системы охлаждения воздуха на входе в газотурбинные установки / Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. Том 1, 2015, С. 232.
4. *Анисимов С.Н.* Повышение производительности ГТУ при высоких температурах наружного воздуха / С.Н. Анисимов, Д.Е. Круговых, Д.С. Молодкин // Турбины и Дизели, 2013, Т. 6, С. 34–41.
5. *Богданов И.А.* Повышение генерации электрической энергии гту путем изменения энергетического баланса при вариации температуры окружающей среды / XIII Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле», 2017, Т. 1, С. 516.
6. *Беляков П.Ю.* Математическая модель поперечной турбины свободнопоточной микрогэс гирляндного типа в среде имитационного моделирования simulink / П.Ю. Беляков, А.В. Куксин // Электротехнические комплексы и системы управления, 2010, Т. 1, С. 2-6.
7. Заявка №2018616011. Имитационная модель системы тригенерации с бинарным циклом для повышения эффективности использования первичного энергоносителя, Абрамович Б.Н. (RU), Богданов И.А. (RU), Маларев В.И. (RU). Заяв. 26.03.2018, опубл. 21.05.2018, Бюл. № 6.
8. *Моренов В.А.* Повышение энергоэффективности электротехнического комплекса нефтедобывающих предприятий с утилизацией попутного нефтяного газа // Сборник трудов международной научно-практической конференции «Энергоэффективность энергетического оборудования». Санкт-Петербург, 2014, Т. 1, С. 171-174.
9. Промышленная газовая турбина SGT-800. Публикация и авторское право: Siemens AG energy sector Freyeslebenstrasse 191058 Erlangen, Германия.
10. Boyce D. The compressor section: an area of increased concern // Modern Power Systems, 2012, Vol. 9, C P. 21-28.
11. SST-700 industrial steam turbines Published and copyright 2011: Siemens AG Energy Sector Freyeslebenstrasse 1 91058 Erlangen, Germany.

УДК 67.08

ИММОБИЛИЗАЦИЯ «КРАСНОГО ШЛАМА» АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ИЗ НЕГО СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Боева Анастасия Александровна,
группа МНММ-18,
Санкт-Петербургский Горный
университет, кафедра МиТХИ

Аннотация. Проблемы экологии все чаще вызывают интерес и требуют незамедлительного решения. В данной статье описаны экологические последствия катастрофы, произошедшей в Венгрии, а так же предложение решения этой проблемы в избегание дальнейшего повтора подобного происшествия.

Ключевые слова: экология; алюминиевое производство; «красный шлам»; утилизация; иммобилизация

IMMOBILIZATION OF “RED MUD” OF ALUMINUM PRODUCTION AND MANUFACTURING OF CONSTRUCTION MATERIALS FROM IT

Boeva Anastasia Alexandrovna,
group MNMM-18,
Saint-Petersburg Mining University,
department MS&TAP

Abstract. Ecological problems are increasingly of interest and require non-delayed solutions. This article describes the environmental consequences of the catastrophe that occurred in Hungary, as well as the proposal to solve this problem in order to avoid further repetition of such an incident.

Keywords: ecology; aluminum production; “red mud”; recycling; immobilization

Сегодня все чаще обсуждаются проблемы экологии при создании новых технологий и строительстве заводов. Необходимым требованием является дать ответы на такие вопросы, как: «Насколько производство продукции является вредным?», «Возможна ли переработка отходов данной продукции во вторичное сырье?» и многие другие. К сожалению, ученые и изобретатели на данный момент, не всегда могут ответить на вышеперечисленные вопросы, поэтому проблема экологии является одной из наиглавнейших проблем XXI века.

В данной статье описываться проблема пагубного влияния отходов, получаемых заводами при изготовлении продукции. В качестве исследования

были рассмотрены заводы, производящие алюминиевые чушки. Алюминий находит широкое применение в качестве конструкционного материала. Он легок, пластичен, устойчив к сверхнизким температурам и коррозии, прочен, а так же имеет низкую себестоимость. Данные преимущества позволяют назвать его одним из самых востребованных металлов. Но, не смотря на то, что люди нуждаются в продукции, изготовленной из этого металла, выпуск алюминиевых чушек является вредным производством и требует особого внимания к решению вопросов экологии.

При производстве алюминиевой продукции образуется большое количество отходов в виде белитовых шламов, шламов каустификации, серых шламов глубокого обескремнивания, «красные шламы» глиноземного производства, отработанная футеровка и шламы газоочистки. Утилизация или иммобилизация данных шламов тяжело осуществима, так как они очень затратны [1]. Поэтому в качестве выхода из положения в свое время было вынесено предложение в виде уменьшения объема шлама за счет снижения влажности. Но данная идея лишь является временным решением проблемы, так как такой способ не позволяет нейтрализовать пагубное влияние на окружающую среду, а лишь его сдерживает. Наиболее вредным из вышеперечисленных отходов является – «красный шлам», так как при производстве алюминия его образуется в два раза больше, чем производимого металла.

Основная причина вреда этого шлама - высокое содержание (около 60 % от общей массы) оксида железа, который является токсичным и отрицательно влияет на окружающую среду. Помимо этого данный отход имеет высокую щелочность (10-13 pH), что требует дополнительных операций для его утилизации или иммобилизации. Ежегодно, на тонну глинозема, из которого в дальнейшем производится алюминий, образуется 1,1 т «красного шлама». На сегодняшний момент его накопленный объем в мире составляет около 3 млрд. тонн [2]. Для того чтобы уменьшить вред, наносимый этим видом отхода, была разработана технология, позволяющая его складировать и сдерживать распространение в окружающей среде. Но после аварии произошедшей в Венгрии 4 октября 2010 года было осуществлено ужесточение экологических нормативов с целью избегания подобных инцидентов.

Суть аварии заключалась в том, что в резервуаре, в который производился слив «красного шлама», произошла утечка приблизительно около 1,1 миллиона кубометров, впоследствии забравшая жизни у 10 человек (рис. 1). 9 октября были эвакуированы жители пострадавшего от аварии города и объявлено чрезвычайное положение. Помимо всего этого пострадала большая территория, а так же ядовитые отходы попали в реку, и начало происходить отравление в ней всего живого.

На сегодняшний момент метод обезвоживания и складирования «красного шлама» является наиболее распространенным в мире, но из-за произошедшей аварии и возможности возникновения аналогичной ситуации в других местах с резервуарами данного вида отходов, требуется найти

наиболее оптимальный и безопасный способ нейтрализации его влияния на окружающую среду [3].

Рис. 1 - Произошедшая авария в Венгрии из-за утечки «красного шлама»

Помимо вышеназванной технологии существуют еще так же технологии обогащения и извлечения редкоземельных элементов, извлечение железа, производство цемента и строительных материалов. Наиболее перспективным направлением, исходя из выводов исследований, является разработка технологии иммобилизации отходов алюминиевого производства и выпуск товарной продукции.

Преимущества данного направления заключается в том, что композиционный материал, созданный на основе представленного шлама является прочным, устойчивым к водной среде, а так же имеет структуру однородного монолитного камня [4].

Так же неоспоримым положительным фактором является и довольно широкая сфера применения нейтрализованных отходов, а именно: получение экологичных стеновых панелей, производство шпал и других элементов инфраструктуры путей железнодорожного сообщения, строительных материалов (кирпичи, блоки, плиты, панели), сухих строительных смесей, термостойких теплоизоляционных плит, строительных плит, свай и др. Но для создания композиции, позволяющей нейтрализовать токсичность «красного шлама», необходимо использовать магнезиальный цемент, так как он обладает такими свойствами как: высокая плотность материала, малая щелочность, устойчивость к гниению органических заполнителей, беспористость [5].

Наиболее важным фактором использования этого материала вместо традиционных бетона и портландцемента является отсутствие пор в материале, так как контакт этого вида отходов с водой делает его токсичным.

Данный способ можно назвать экономически выгодным, даже не смотря на то, что средств на создание такого композиционного материала из требуется больше, нежели для его обезвоживания и складирования, но предприятие извлекает свою выгоду из производства новых материалов на основе этого отхода [6].

В данной статье описано влияние «красного шлама» и предложен способ, позволяющий нейтрализовать его негативное воздействие. Эта тема является актуальной и заслуживает дальнейшего внимания, так как тема экологии является одной из главных проблем нашего времени.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Куликов Б.П.* Утилизация отходов со шламовых полей алюминиевых заводов в производстве цемента / Б.П. Куликов, Л.А. Вертопрахова, М.Н. Пигарев // Цветные металлы, 2006, Т. 3, С. 46-51.
2. *Огородникова Е.Н.* Красный шлам вопрос хранения и использования / Е.Н. Огородникова, С.К. Николаева // Инженерно-геологические задачи современности и методы их решения: материалы науч. практич. конф. Москва, 2017, С. 284 – 288.
3. *Утков В. А.* Теория и практика переработки красных шламов / Техника и технология, 2012, Т. 3, С. 56-57.
4. *Солнцев Ю.П.* Материаловедение специальных отраслей машиностроения: учебное пособие / Ю.П. Солнцев, В.Ю. Пирайнен, С.А. Вологжанина. – СПб: Химиздат, 2007. – 784 с.
5. *Тюкавкина В.В.* Смешанные магнезиальные вяжущие / В.В. Тюкавкина [и др.] / Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья Кольского научного центра РАН, ОАО «ЦНИИМ-ИНВЕСТ» - Апатиты, 2010, 20 с.
7. *Мирюк О.* Магнезиальные композиции с комплексным использованием отходов обогащения руд. – Белгород: ООО «Русначкнига», 2013, С. 49-55.

УДК 621.7.09

ПРИМЕНЕНИЕ ФИНИШНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ МАКСИМАЛЬНУЮ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПОРШНЕВОЙ ПАРЫ МАСЛОЗАПОЛНЕННОГО ПОДВЕСНОГО КОМПРЕССОРА

Борисов Михаил Алексеевич,
группа ТПММ-17,
Санкт- Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. Использование подвесных компрессоров при добыче нефти позволяет снижать давление в затрубном пространстве скважины, что приводит к увеличению ее дебита. Существующие конструкции подвесных компрессоров с приводом от балансира станка-качалки и технологии их изготовления имеют существенные недостатки. В данной работе проведен анализ конструкций, выявлены их основные недостатки и проблемы при эксплуатации. Предложены новые технологические решения по устранению выявленных проблем.

Ключевые слова: подвесной компрессор; поршневая пара; микропрофиль поверхности; тонкое точение; финишные технологии

APPLICATION OF FINISHING TECHNOLOGIES ENSURING THE MAXIMUM WEAR RESISTANCE OF THE WORKING SURFACES OF THE PISTON PAIR OIL FILLED SUSPENDED COMPRESSOR

Borisov Mikhail Alekseevich,
group TPMM-17,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. The use of overhead compressors for oil production allows to reduce the pressure in the annulus of the well, which leads to an increase in its flow rate. Existing designs of suspended compressors driven by the balance of the pumping unit and their manufacturing techniques have significant drawbacks. In this paper, we analyzed the structures, identified their main drawbacks and problems during operation. Proposed new technological solutions to eliminate the identified problems.

Keywords: overhead compressor; piston pair; surface microprofile; fine turning; finishing technologies

Процесс добычи нефти сопровождается сложными процессами, один из которых – сепарация газа, которая отрицательно влияет на работу внутрискважинного насосного оборудования. Кроме того, увеличение давления в затрубном пространстве может повлечь за собой срыв подачи насоса. Одним из вариантов реализации технологии отбора газа из затрубного пространства являются компрессоры с приводом от балансира станка-качалки (подвесные компрессоры) или от шкива двигателя. Использование компрессоров для откачки газа из затрубного пространства обеспечивает снижение давления в затрубном пространстве, что приводит к увеличению дебита скважины [1].

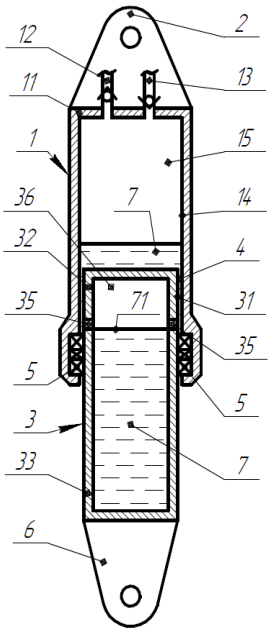


Рис. 1 - Конструкция подвесного компрессора:
1 – цилиндр; 2 – кронштейн; 3 – поршень; 4 – кольцевой зазор; 5 – сальниковое уплотнение; 6 – кронштейн; 7 – рабочая жидкость (масло); 11 – верхняя часть цилиндра (крышка); 12 – всасывающий клапан; 13 – нагнетательный клапан; 14 – внутренняя поверхность цилиндра; 15 – полость цилиндра; 31 – наружная поверхность поршня; 32 – верхняя часть поршня; 33 – нижняя часть поршня; 35 – отверстия; 36 – полость поршня; 71 – уровень рабочей жидкости

Анализ [2, 3] показывает, что большинство конструкций обладают проблемой: в процессе эксплуатации происходит быстрый износ поршневой пары.

В результате износа образуется зазор между цилиндром и поршнем, через который газ из области высокого давления начинает поступать в область низкого давления. Это приводит к уменьшению степени сжатия компрессора и выходу его из строя.

Существует конструкция подвесного компрессора с приводом от балансира станка-качалки (рис. 1), отличием которой является поршень, часть которого выполнена полой со сквозными отверстиями и заполнена рабочей жидкостью (маслом). Наличие масла в полости цилиндра обеспечивает более высокую степень сжатия газа по сравнению с конструкциями без масла [3].

Однако у данной конструкции сохраняется проблема повышенного износа поршневой пары. После обработки (точением) поверхности цилиндра и поршня обладают равновесным микрорельефом. Поверхности такого типа контактируют на малых площадях, а участки фактического контакта таких поверхностей испытывают высокие напряжения. Это увеличивает время приработки и характеризует повышение приработочного износа [4, 5]. В результате происходит снижение компрессии в устройстве, а так же будет снижаться гидродинамический перепад давления, что приведет к увеличению нагрузки на сальниковые уплотнения и течи через них.

Последние исследования в области повышения качества поверхностей показывают тенденцию замены шлифования на тонкое точение на отделочных операциях.

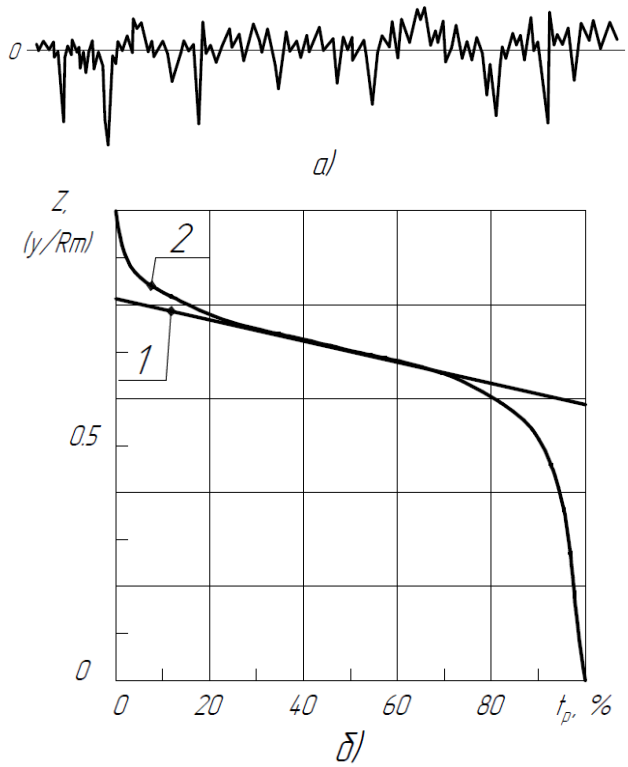


Рис. 2 - Типовой платообразный микропрофиль поверхности:
1 – база профиля, 2 – кривая Аббота
а) – профилограмма; б) – результат обработки профилограммы

Одним из перспективных решений этой задачи является использование высокоскоростной обработки инструментом с пластинами из режущей керамики [6-12].

Для повышения износостойкости в паре трения цилиндр – поршень необходимо технологически обеспечить платообразную форму микропрофиля их рабочих поверхностей, наилучшим образом соответствующую данному свойству [13, 14]. Микропрофиль поверхности данного типа представлен на рисунке 2. Он отличается тем, что микропрофиль платообразной формы имеет периодические впадины, в которых удерживается смазка. Он имеет большую опорную поверхность с практически полным отсутствуем выступов, что обеспечивает при наличии смазки высокую износостойкость.

Технологическое решение по получению данного микрорельефа предлагается реализовать следующим образом. Поверхности цилиндра и поршня получают методом тонкого точения. При этом достигается точность на цилиндре по 7 квалитету, а на поршне – по 6 квалитету с применением пластин с зачистной фаской, позволяющих достичь шероховатости поверхности до Ra0,08 мкм. Особенностью микропрофиля при данной обработке является то, что он является равновесным, т.е. высота выступов и впадин примерно равнозначна.

Для достижения платообразного микрорельефа возможно применение финишных технологий обработки, например электрополирования, магнитно-абразивного полирования, финишного плазменного упрочнения [5, 15–18].

Данные операции позволяют снимать выступы микропрофиля при сохранении впадин, что позволяет достичь большую фактическую контактную площадь и обеспечить более пологую кривую опорной поверхности. В результате возможно получить пару трения с наилучшими эксплуатационными характеристиками.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Севастьянов А.В.* Разработка конструкции подвесного компрессора с гидрозатвором для нефтяной скважины / А.В. Севастьянов, Ш.Г. Мингулов, Ю.В. Нигай, М.Д. Валеев, Р.С. Третьяков // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса, 2016, Т. 3, С. 27–32.
2. *Тронов В.П.* Сепарация газа и сокращения потерь нефти. - Казань: ФЭН, 2002. – 407 С.
3. Патент RU № 177393U1, МПК E21B43/00. Подвесной компрессор с приводом от балансира станка-качалки / А.В. Севастьянов, Ю.В. Нигай, Р.С. Третьяков // заявл. 14.11.2017; опубл. 20.02.2018.
4. *Красный В.А.* Триботехнические характеристики деталей горных машин с регулярной микрогеометрией поверхности / В.А. Красный, В.В. Максаров // Металлообработка, 2016, Т. 1, С. 29–35.
5. *Тополянский П.А.* Повышение износостойкости формообразующих деталей технологической оснастки / Формы +. Оснастка для переработки полимерных материалов, 2008, Т. 2, С. 6–12.
4. *Maksarov V.V.* Quality assurance during milling of precision elements of machines components with ceramic cutting tools / V.V. Maksarov, A.D. Khalimonenko // International Review of Mechanical Engineering, 2018, Vol. 12 (5), C. 437-441.
5. *Maksarov V.V.* Stability analysis of multipoint tool equipped with metal cutting ceramics / V.V. Maksarov, A.D. Khalimonenko, K.G. Matrenichev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, V. 87, 82030.
6. *Максаров В.В.* Обеспечение качества при фрезеровании режущей керамикой точных элементов узлов и деталей машин / В.В. Максаров, А.Д. Халимоненко // Современное машиностроение. Наука и образование. 2017, № 6, С. 572-582.
7. *Maksarov V.V.* Forecasting performance of ceramic cutting tool / V.V. Maksarov, A.D. Khalimonenko // Key Engineering Materials, 2017, V. 736, C. 86-90.
8. *Максаров В.В.* Влияние структурных параметров режущей керамики на работоспособность инструмента при обработке прецизионных поверхностей деталей горных машин / В.В. Максаров, А.Д. Халимоненко // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2017, Т. 8 (1), С 56-64.
9. *Халимоненко А.Д.* Анализ устойчивости работы многолезвийного инструмента, оснащенного режущей керамикой / А.Д. Халимоненко, Т.С. Голиков // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME-2017. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, 2017, Т. 1, С. 305-308.
10. *Халимоненко А.Д.* Оценка режущих свойств керамического инструмента / А.Д. Халимоненко, Р.Р. Рахманкулов // Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, С. 148–150.

11. *Абрамова Н.Б.* Обеспечение качества рабочей поверхности гильз кристаллизаторов МНЛЗ / Научные труды Куб ГТУ, 2018, Т. 4, С. 1–9.
12. *Васильков Д.В.* Параметрические и непараметрические характеристики шероховатости поверхности / Д.В. Васильков, А.С. Александров, В.В. Голикова // Системный анализ и аналитика, 2018, Т. 2 (7), С. 4–12.
13. *Максаров В.В.* Технологическое обеспечение шероховатости резьбовых поверхностей посредством предварительного магнитно-абразивного полирования метчика / В.В. Максаров, А.И. Кексин // Металлообработка, 2018, Т. 2 (104), С. 35-40.
14. *Maksarov V.V.* Technology of magnetic-abrasive finishing of geometrically-complex products / V.V. Maksarov, A.I. Keksin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, С. 42–68.
15. *Максаров В.В* Технологическое повышение качества сложнопрофильных поверхностей методом магнитно-абразивного полирования / В.В. Максаров, А.И. Кексин // Металлообработка, 2017, Т. 1 (97), С. 47-57.
16. *Максимов Д.Д.* Выбор режимов нанесения ионно-плазменных покрытий для повышения износостойкости вкладышей подшипников ДВС / Д.Д. Максимов, И.С. Шунькин // Электронный сборник статей по материалам LVII студенческой международной научно-практической конференции «Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки», 2017, С. 35–38.

УДК 622.271.5

УСТРОЙСТВО ДЛЯ СБОРА ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ КОНКРЕЦИЙ С МЕХАНИЗМОМ ШАГАНИЯ

Бородкин Эдуард Олегович,
группа ГМ-14,
Королев Роман Иванович,
аспирант,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. На дне Тихого океана за Россией закреплена территория площадью несколько десятков кв. км, богатая железомарганцевыми конкрециями (ЖМК). Они залегают на глубине 5000 м, где давление воды 500 атм. В настоящее время добыча ПИ на больших глубинах не ведется. Поэтому нами разрабатывается такое устройство для глубоководной добычи ЖМК с пластинами разряжения (патент №178978). Устройство спускается на дно с судна обеспечения за счет специализированной лебедки и кевларового троса. Далее в пластинах создается разряжение 3-4 атм относительно придонного, за счет рукоятей пластины прижимаются ко дну и происходит захват конкреций присосками. Разгрузка происходит в накопительный коллектор объемом 85 куб.м. После сбора конкреций с одной точки устройство перемещается «шаганием» с помощью рукоятей. По нашим расчетам на весь цикл заполнения коллектора необходимо 3 часа. Тогда часовая производительность одного агрегата 68 тонн/ч. Для рентабельности добычи необходимо задействовать 3 добычных устройства. Также нами были проведены лабораторные испытания. Конкреции прижимались к устройству.

Ключевые слова: добычное устройство; агрегат; пластины; конкреции; производительность

DEVICE FOR COLLECTION OF IRON-MAGNETIC NODULES WITH THE STEP MECHANISM

Borodkin Eduard Olegovich,
group GM-14,
Korolev Roman Ivanovich,
postgraduate student,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. At the seafloor of the Pacific Ocean, an area of several tens of square kilometers, rich in manganese nodules, is assigned to Russia. They lie at a depth of 5000 m, where the water pressure is 500 atm. Currently, mining at great depths is

not conducted. Therefore, we are developing such a mining collector with a device for deep-sea mining with the pressure drop cameras (patent No. 178978). The mining collector with the device with the pressure drop cameras descends to the seafloor from the mother vessel at the expense of a specialized winch and a Kevlar cable. Then the pressure drop until 3-4 atm is creating in the cameras relative to the subsea one. Cameras are pressing to the seafloor by position thrusters. Nodules are capturing by suckers. Unloading takes place in a storage bunker unit of 85 cubic meters. After collecting nodules from one point, the mining collector is moving by “walking” by position thrusters. According to our calculations for the entire cycle of filling the storage bunker unit should be 3 hours. Then the hourly capacity of one unit is 68 tons/h. For profitability of mining, it is necessary to use 3 mining collectors. We also conducted laboratory tests, which shows that nodules pressed against the device.

Keywords: mining collector; unit; cameras; nodules; production

1 Общие сведения о добычном агрегате

Известна конструкция комплекса, представляющего собой устройство захвата ЖМК пластинами с полостями разряжения (по патенту №178978 Российская Федерация, E21C 50/02, Придонное добычное устройство для сбора железомарганцевых конкреций с морского дна / Юнгмейстер Д.А. и др., опубл. 24.04.2018 и заявке на полезную модель 2018 года). С палубы судна на специальной лебедке добычное устройство спускается на глубину 5000 метров с помощью кевларового троса.

Далее захватывающие пластины, закрепленные на рукоятях, опускаются на дно. В этот момент включаются насосы, расположенные внутри корпуса этих пластин, создается разряжение в рабочей полости 3-4 бар относительно придонного.

Затем пластины касаются присосками конкреций, открываются клапаны и за счет разряжения конкреции захватываются.

Следующий этап разгрузки, на котором пластины поднимаются и разгружают конкреции в бункер. После сбора всех конкреций вокруг агрегата, установка перемещается шаганием на следующую точку сбора.

2 Геометрический расчет пластин разряжения

Данный расчет необходим для понятия качества сбора конкреций, какой объем будет захватываться одной пластиной (рис. 1), либо после сбора с одной точки (рис. 2).

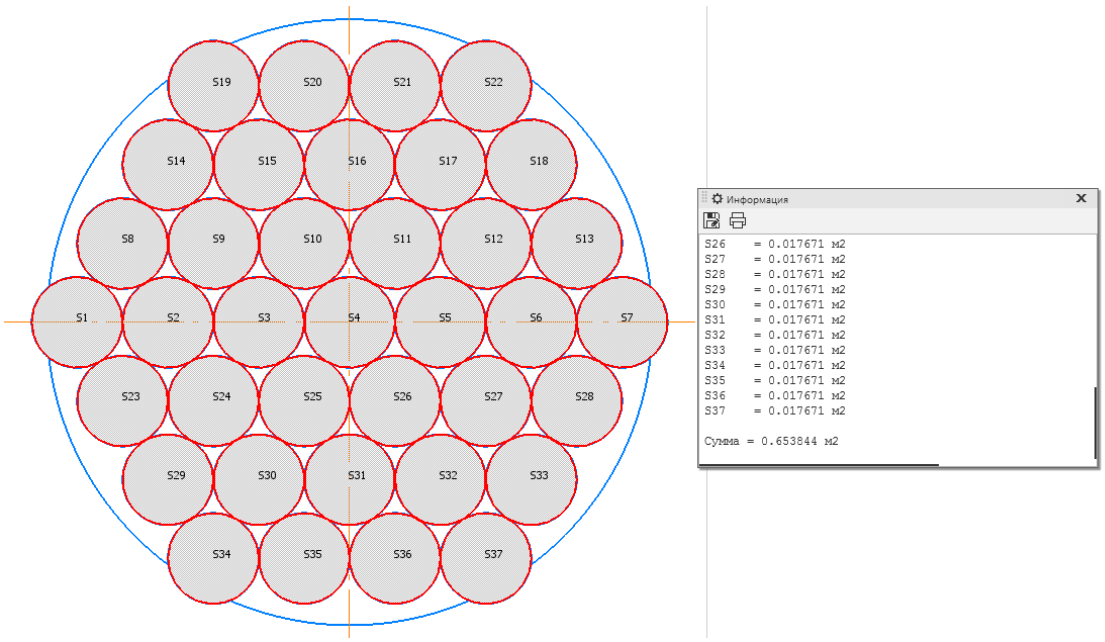


Рис. 1 - Размещение присосок на пластине

На рис. 1 представлена пластина диаметром 1 метр с присосками диаметром 150 мм в количестве 37 штук. Как известно, конкреции залегают на дне с плотностью залегания до 70 кг/м^2 (рис. 3).

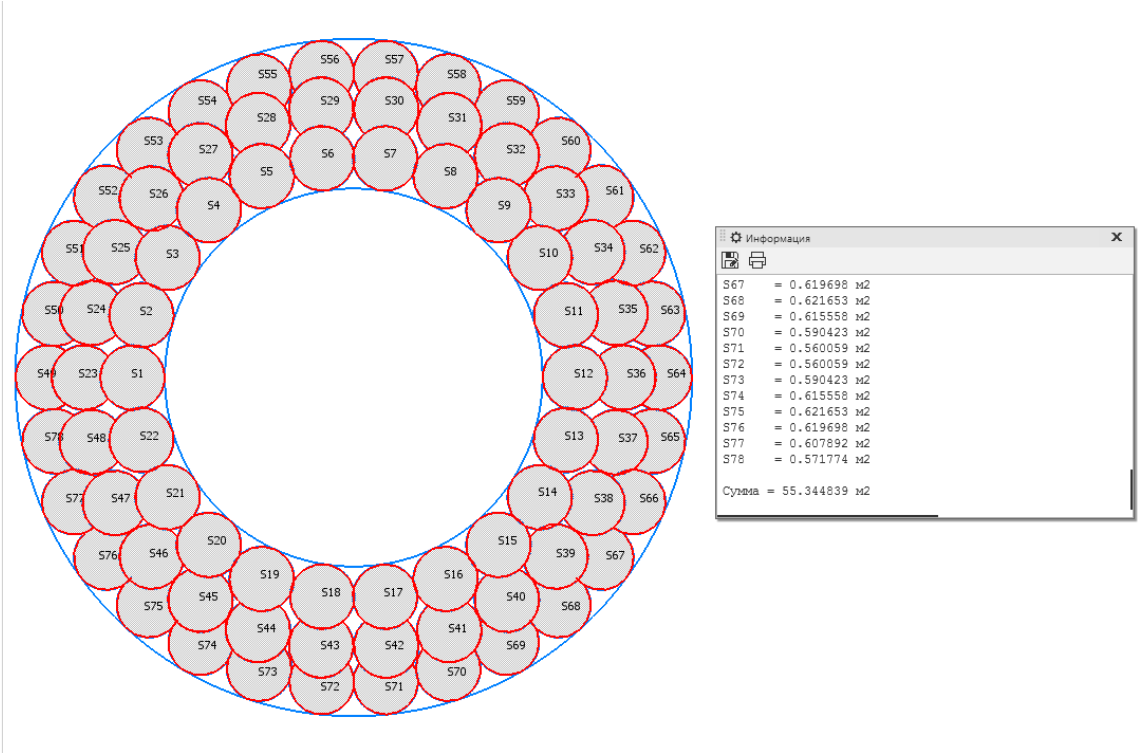


Рис. 2 - Поле сбора ЖМК с одной точки

Площадь охвата присосок на одной пластине (рис. 1):

$$S_{прис} = 0{,}65 м^2. \qquad (2.1)$$

Площадь пластины (Рис. 3):

$$S_{пласт} = 0{,}785 м^2. \qquad (2.2)$$

Полная площадь пластин (78 штук):

$$S_{полн} = 78 \cdot 0{,}785 = 61{,}23 м^2; \qquad (2.3)$$

Фактическая площадь охвата пластин с учетом наложения (Рис. 2):

$$S_{факт} = 55{,}34 м^2; \qquad (2.4)$$

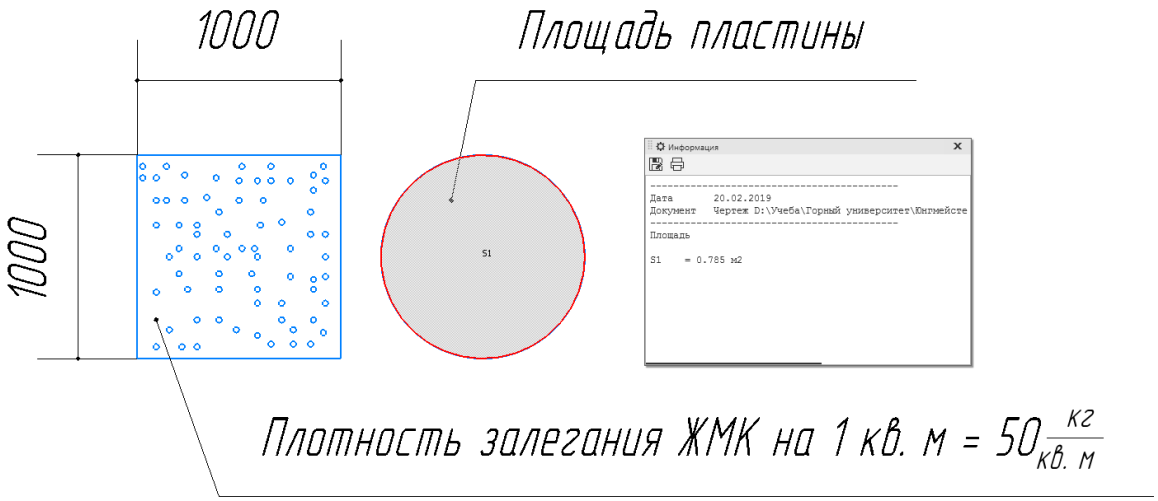


Рис. 3 - Плотность залегания ЖМК, площадь пластины D = 1 м

Коэффициент наложения пластин:

$$k_{налож\ пласт} = \frac{S_{факт}}{S_{полн}} = \frac{55{,}34 м^2}{61{,}34 м^2} = 0{,}903. \qquad (2.5)$$

Коэффициент покрытия присосок на пластине (Рис. 1):

$$k_{покрыт\ прис} = \frac{S_{прис}}{S_{пласт}} = \frac{0{,}65 м^2}{0{,}785 м^2} = 0{,}828 \approx 0{,}83. \qquad (2.6)$$

Зная плотность залегания ЖМК на одном квадратном метре (γ), фактическую площадь охвата пластин, коэффициенты захвата и покрытия присосок на пластине, определяем массу конкреций, собираемых с одной точки:

$$M_1 = k_{захв} \cdot k_{покрыт\ прис} \cdot S_{факт} \cdot \gamma = 0{,}7 \cdot 0{,}83 \cdot 55{,}34 м^2 \cdot 50 \frac{кг}{м^2} = 2296 кг. \quad (2.7)$$

Получается, что с одной точки (рис. 2) агрегат соберет $\approx 2{,}3$ тонны железомарганцевых конкреций.

Также необходимо учитывать, что плотность залегания конкреций на дне варьируется от 10 до 70 кг/м^2, коэффициент захвата меняется от 0,7 до 1 (рис. 4).

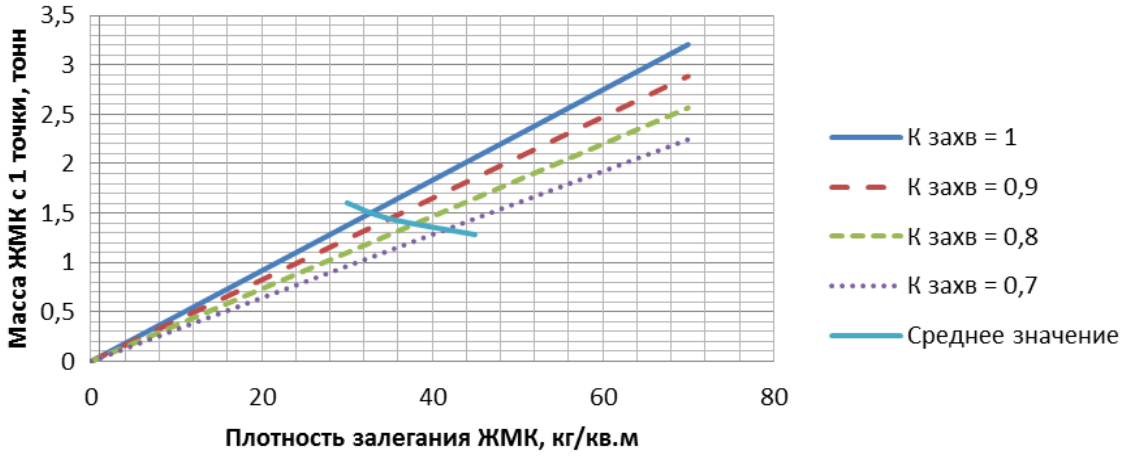


Рис. 4 - График зависимости Массы ЖМК, собираемых с одной точки, от плотности залегания ЖМК и коэффициента захвата

На графике видно, что наибольшее количество собираемых конкреций $\approx 3{,}2$ тонны (при коэффициенте захвата 1, плотности залегания 70 кг/м^2), а среднее значение $\approx 1{,}4$ тонны (при коэффициенте захвата 0,85, плотности залегания 35 кг/м^2).

3 Расчет производительности добычного агрегата

Производительность агрегата для сбора железомарганцевых конкреций зависит от следующих параметров: время на выполнение основных операций, скорости спуска на морское дно для сбора ЖМК и подъема установки на судно обеспечения для разгрузки, скорости движения штоков гидроцилиндров, плотности залегания ЖМК, коэффициента захвата. Зная производительность одного агрегата, можно выявить необходимое их количество, для удовлетворения условий годовой производительности.

Основанием расчета является определение полного времени цикла (3.1). Оно состоит из следующих операций:

1. Основные операции:
1.1. Время спуска установки ко дну;
1.2. Время заполнения коллектора;
1.3. Время передвижки агрегата от одного до другого места сбора;
1.4. Время подъема со дна до судна обеспечения;
1.5. Время разгрузки коллектора.
2. Вспомогательные операции:
2.1. Время раздвигания лап в позицию захвата ЖМК;
2.2. Время захвата ЖМК (насосная станция создала разряжение);
2.3. Время поднятия лап для сбрасывания ЖМК в коллектор;
2.4. Время сбрасывания ЖМК (остановка насосной станции);
2.5. Время движения штока.

$$T_ц = T_{спуск} + T_{погрузк} + T_{движ} + T_{подъем} + T_{разгрузк}. \qquad (3.1)$$

Время спуска агрегата зависит от плавучести и массы агрегата и составляет от 30 до 40 минут при скорости 3 м/с.

Время погрузки ЖМК в коллектор (3.2) зависит от времени раздвигания лап в позицию захвата ЖМК, захвата конкреций (с учетом того, что насосная станция уже создала разряжение в пластине во время предыдущей операции — раздвигания рукоятей), времени поднятия лап для сбрасывания ЖМК в коллектор и самого сброса конкреций.

$$T_{погрузк} = \tau_{раздв\,лап} + \tau_{захв\,ЖМК} + \tau_{поднят\,лап} + \tau_{сброс\,ЖМК}. \qquad (3.2)$$

Время раздвигания (поднятия) лап (3.3), зависящее от скорости движения и длины штоков (скорость движения штоков от 0,1 до 0,5 м/с; длина штоков 0,5 м):

$$\tau_{раздв\,лап} = \tau_{поднят\,лап} = \tau_{движ\,шток} = \frac{l_{штока}}{\vartheta_{штока}} = \frac{0{,}5\,м}{0{,}1\frac{м}{с}} = 5c. \qquad (3.3)$$

Время захвата ЖМК присосками:

$$\tau_{захв\,ЖМК} \approx 2c. \qquad (3.4)$$

Время сброса ЖМК в коллектор:

$$\tau_{сброс\,ЖМК} \approx 5c. \qquad (3.5)$$

Время погрузки конкреций в коллектор (3.2):

$$T_{погрузк} = 5 + 2 + 5 + 5 \approx 20c. \qquad (3.6)$$

Исходя из условий кевларового троса диаметром 48 мм, при допускаемом натяжении при коэффициенте запаса прочности 2,2, максимальная полезная масса поднимаемой руды $M_{макс} = 109m$. Учитывая плотность ЖМК $\rho = 2{,}7$ т/м^3 , объем коллектора должен быть 40 м^3. Тогда для полного заполнения коллектора необходимо собрать конкреции с 46 позиций:

$$N = \frac{E \cdot \rho}{M_1} = \frac{40 \cdot 2{,}7}{2{,}3} = 46. \qquad (3.7)$$

Для сбора конкреций на одной точке необходимо совершить 21 операцию погрузки. Тогда время погрузки на одной точке: $n \cdot T_{погрузк} = 420c$.

Время на полное заполнение коллектора:

$$T_{погрузк} + T_{движ} = N \cdot n \cdot T_{погрузк} + N \cdot T_{движ} \approx 3 часа. \qquad (3.8)$$

Общее время цикла одного добычного агрегата:

$$T_{ц} = 40 + 180 + 30 + 5 = 255 мин \approx 4 часа. \qquad (3.9)$$

Определим расчетную производительность одного агрегата:

$$Q_{расч} = \frac{\rho \cdot E}{T_{ц}} = \frac{2{,}7 \cdot 40}{4} = 27 \frac{тонн}{час}. \qquad (3.10)$$

Эти показатели для средних параметров. При наилучших факторах производительность одного агрегата возрастет до 68 тонн/час. Следовательно, для обеспечения годовой производительности потребуется 3 добычных агрегата.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Yungmeister D.A.* Calculation of parameters of technological equipment for deep-sea mining / D.A. Yungmeister, S.E. Ivanov, A.I. Isaev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, Vol. 327(2), 022050.
2. *Yungmeister D.A.* Development of the construction and characterization of deep complex for collecting imc. / D. Yungmeister, K. Kireev // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences, 2016, Vol. 7 (2), C. 2086-2091.
3. *Yungmeister D.A.* Improvement of shock system of hydraulic drill to increase drilling intensification / D.A. Yungmeister, R.I. Korolev, V.A. Karlov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 194(3), 032006.
4. *Юнгмейстер Д.А.* Анализ вариантов модернизации станков шарошечного бурения с погружным пневмоударником / Д.А. Юнгмейстер, И. Крупенский, С.А. Лавренко // Записки горного института, 2018, Т. 231.
5. Пат. 2301338 Российская федерация, МПК Е 21 С 50/00 (2006.01). Комплекс для разработки полезных ископаемых шельфовой зоны Мирового океана / Д.А. Юнгмейстер, Б.С. Маховиков, Д.В. Смирнов, А.Я. Бурак: заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова (технический университет). – 2006100405/03; заявл. 10.01.2006; опубл. 20.06.2007, Бюл. № 17–6 с.
6. Пат. 2375578 Российская федерация, МПК Е 21 С 50/00 (2006.01). Способ селективного отбора и предварительного обогащения железомарганцевых конкреций и устройство для его реализации / Д.А. Юнгмейстер, Д.В. Смирнов, А.В. Большунов, М.М. Ветюков, М.Ю. Платовских,

А.А. Смыслов, Н.Н. Гришкин: заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова (технический университет). – 2008121079/03; заявл. 26.05.2008; опубл. 10.12.2009, Бюл. № 34–8 с.
7. Пат. 178978 Российская федерация, E21C 50/02, Придонное добычное устройство для сбора железо-марганцевых конкреций с морского дна / Д.А. Юнгмейстер и др., опубл. 24.04.2018 – 8 с.
8. *Юнгмейстер Д.А.* Лабораторные исследования добычного исполнительного органа агрегата сбора железомарганцевых конкреций / Д.А. Юнгмейстер, А.В. Большунов, Д.В. Смирнов // Записки горного института, 2008, Т. 178, С. 198-200.
9. *Yungmeister Dmitrii*. Development of the Construction and Characterization of Deep Complex for Collecting IMC / Dmitrii Yungmeister and Kirill Kireev // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences (RJPBCS), 2016, Vol. 7(2), C. 2086-2091
10. *Юнгмейстер Д.А.* Машины для добычи железомарганцевых конкреций в Балтийском море / Д.А. Юнгмейстер, Д.В. Смирнов, А.П. Вержанский, И.А. Исаев. - СПб.: Политехника-сервис, 2015. – 135 с.
11. *Юнгмейстер Д.А.* Расчет параметров и экспериментальные исследования исполнительных органов придонного агрегата для сбора железомарганцевых конкреций / Д.А. Юнгмейстер, М.М. Ветюков, М.Ю. Платовских, Д.В. Смирнов // Горное оборудование и электромеханика, 2008, Т. 11, С. 53-56.
12. *Jia Y.* Investigation of biosolids degradation under flooded environments for use in underwater cover designs for mine tailing remediation / Y. Jia, P. Nason, C. Maurice, L. Alakangas, B. Ohlander // Environmental Science and Pollution Research, 2015, Vol. 22 (13), C. 10047-10057.
13. *Azimi-Sadjadi M.R.* Detection of Underwater Targets Using a Subspace-Based Method with Learning / M.R. Azimi-Sadjadi, N. Klausner, J. Kopacz // IEEE Journal of Oceanic Engineering, 2017, Vol. 42 (4), № 7814207, C. 869-879.
14. *Сержан С.Л.* Влияние глубины погружения капсулы с пульпоперекачным оборудованием на эффективность добычи полезного ископаемого морским добычным комплексом / С.Л. Сержан, В.И. Медведков // Горное оборудование и электромеханика, 2016, Т. 3, С. 34-42.
15. *Geremew A.M.* Erosion characteristics and stochastic nature of bed shear stress in underwater mine tailings / Canadian Journal of Civil Engineering, 2017, Vol. 44(6), C. 426-440.

УДК 621.822.178

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ОПОР СКОЛЬЖЕНИЯ БАРАБАННОЙ МЕЛЬНИЦЫ

Бравцев Антон Владиславович,
группа МММ-17,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. От надёжной работы мельниц зависит качество глинозёма и гидрата алюминия, сырья для последующей технологической цепочки производства алюминия. Наибольшие риски отказов связаны с износом коренных опор скольжения мельницы.
Повышение износостойкости коренных подшипников мельницы возможно совершенствованием их конструкции и научно-обоснованным выбором материала пары трения вал-вкладыш. Проведены экспериментальные исследования по оценке износостойкости различных материалов для вкладыша подшипника. По результатам эксперимента в качестве вкладыша новой конструкции подшипника скольжения мельницы выбран прессованный древесный пластик.

Ключевые слова: барабанная мельница; комбинированная опора скольжения; система смазки; изнашивание подшипника; вкладыш; прессованный древесный пластик

IMPROVING THE WEAR RESISTANCE OF SLIDE BEARINGS OF THE DRUM MILL

Bravtsev Anton Vladislavovich
Group MMM-17,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. The quality of alumina and aluminum hydrate, the raw material for the subsequent technological chain of aluminum production, depends on the reliable operation of the mills. The greatest risk of failure is due to the wear of the mill bearings.
Improving the wear resistance of the main bearings of the mill is possible by improving their design and scientifically-based material selection of a friction pair shaft-liner. Experimental studies have been carried out to assess the wear resistance of various materials for the bearing shell. According to the results of the experiment, pressed wood plastic was selected as an insert for the new bearing design of the mill.

Key words: drum mill; combined sliding bearing; lubrication system; bearing wear; liner; pressed wood plastic

Повышение износостойкости опор скольжения узлов металлургических машин – одно из важнейших условий успешного функционирования технологического процесса производства глинозема.

Проведенный анализ отказов барабанных мельниц глиноземного производства показывает, что основной причиной их выходов из строя являются отказы механической части. Так более 50% продолжительности всех внеплановых остановов связано с отказами механики барабанной мельницы. Среди этих отказов работы, связанные с восстановлением работоспособного состояния коренных подшипников скольжения мельницы, составляют значительную по трудоемкости и времени восстановления часть.

Основными причинами выхода из строя коренных опор скольжения барабанных мельниц и подшипников скольжения редукторов – главных приводов являются: несвоевременное и недостаточное обеспечение смазочным материалом (работа в режиме ограниченной смазки), что вызывает интенсификацию изнашивания пары трения «баббит-сталь» [1, 2, 3].

Повысить ресурс подшипников и снизить риски их отказов эксплуатационными методами возможно конструкторско-технологическими методами, например применением новых материалов и совершенствованием конструкции подшипников, а также обеспечением надлежащее функционирование системы централизованной смазки; применением качественных запасных частей и сертифицированных материалов; проведением диагностических процедур для оценки технического состояния подшипниковых опор и качественным ремонтом опор техническим персоналом обладающим необходимой квалификацией и навыками [4, 5, 6, 7].

Вопросами проектирования опор скольжения и повышения их износостойкости занимался Мендрук Н.В., предложивший новую конструкцию опоры скольжения. Технические решения в области проектирования таких опор предлагал А.П. Богачёв. Вклад в проектирование подшипников жидкостного трения внес Кортс Йохен, предложивший самосмазывающийся подшипник скольжения, о чём свидетельствуют результаты патентного поиска. Свою лепту в проектирование опор скольжения внесли научные деятели как Барынин В.А., Гашков И.Ю., Даштиев И.З., Елисеев А.К., Журавлёв В.Н., Ильин С.Я., Исаев В.П., Кульков А.А., Левин М.Н., Осташевич Д.В., Пеклер К.В., Черниговский В.А., и др.

Однако, как свидетельствует статистика отказов, несмотря на большое число технических решений по совершенствованию опор скольжения, не в полной мере обеспечен заданный уровень их надёжности. Таким образом, данный вопрос остаётся открытым и требует новых экспериментальных исследований и идей для решения поставленной задачи.

Нужен новый антифрикционный материал вкладыша, позволяющий повысить ресурс опор скольжения при модификации конструкции подшипника барабанной мельницы глинозёмного производства.

Особенность конструктивного решения заключается в создании многослойной опоры из антифрикционного материала, обеспечивающего смазывание, высокую контактную прочность материала и износостойкость опор.

Для выбора материала вкладыша подшипника были лабораторные испытания по оценке относительной износостойкости материала вкладыша подшипника барабанной мельницы 2,2×13. Эксперимент проводился при неизменной температуре окружающей среды равной 19 ^{o}С. Предполагалось, что применение более износостойких материалов по сравнению с имеющимися на вкладыше подшипника скольжения позволит повысить износостойкость опор барабанной мельницы и, следовательно, приведёт к повышению безотказности подшипникового узла и, как следствие, увеличению межремонтного цикла. Все серии экспериментов имели длительность 1800 секунд. В качестве лабораторного стенда был взят радиально-сверлильный станок модели 2А576, в патроне которого закреплен осевой инструмент без режущих граней, выполнявший роль не изнашиваемого индентора. Постоянная осевая нагрузка в 35 Н на оси шпинделя создавалась грузом. Тупой торец индентора упирался в поверхность образца, закрепленного в тисках станка, создавая в контакте давление соответствующее давлению в паре вал-подшипник, величина которого составляла 1,715 МПа. Испытания проводились как со смазкой, так и без нее. По истечении времени опыта замерялась глубина износной лунки. Результаты экспериментов сведены в табл. 1.

Таблица 1

Интенсивность изнашивания материала вкладыша, мм/мин

Частота вращения шпинделя станка, мин$^{-1}$	31,5		60		90	
Материал	Вид трения					
	сухое	жидкостное	сухое	жидкостное	сухое	жидкостное
Баббит Б16 ГОСТ 1320-74	0,1217	0,038	0,1223	0,035	0,36	0,228
Баббит Б83 ГОСТ 1320-74	0,037	0,027	0,219	3,109	0,462	0,015
Древесный пластик ДСП-Б ГОСТ 13913-78	0,047	0,003	0,144	0,008	0,138	0,024
Фторопласт-4д ГОСТ 14906-77	0,036	0,015	0,062	0,059	0,134	0,101

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о том, что наиболее предпочтительными материалами для изготовления вкладышей крупногабаритных подшипников скольжения являются прессованный древесный пластик марки ДСП-Б и фторопласт.

При сухом трении лучше всего себя ведёт материал марки «фторопласт-4д (политетрафторэтилен)» ГОСТ 14906-77, по сравнению с другими материалами, представленными в таблице. Но в условиях жидкостного трения предпочтительнее для подшипников скольжения применять материал древесный пластик марки «ДСП-Б».

Также результаты эксперимента показали, что при резком увеличении частоты вращения шпинделя материал марки «баббит Б83» ГОСТ 1320-74 стал гораздо меньше изнашиваться. Поэтому применяется в высокоскоростных подшипниках скольжения.

Опираясь на результаты эксперимента, можно рекомендовать для изготовления вкладышей тихоходных подшипников скольжения материал – древесный пластик марки ДСП-Б ГОСТ 13913-78.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гельберг Б.Т.* Ремонт промышленного оборудования: учебник для сред. проф. техн. училищ. / Б.Т. Гельберг, Г.Д. Пекелис. – 8-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. школа - М.: Промтехобразование, 1981. – 256 с.
2. Двухлинейные системы смазки SKF/LINCOLN и SKF DuoFlex. – СПб.: Техпартнер, 2007.
3. *Ivanov S.L.* Integral criterion of mining machines technical condition level at their operation / S.L. Ivanov, P.V. Shishkin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, 87, 022009.
4. *Ivanov S.L.* Manufacturing and design technology of Combined corrected gearing and nonstandard Radial clearance / S.L. Ivanov, P.V. Shishkin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, 194, 022013.
5. *Zvonarev I.E.* Estimation of the Residual Operation Life Period of Mechanical Transmissions of Mining Machines by Means of Superficial Metal Hardness Measurement in Increased Wear Areas of Their Parts / I.E. Zvonarev, S.L. Ivanov, D.I. Shishlyannikov // Practia Engineering, 2016, Vol. 150, C. 618-625.
6. *Zvonarev I.E.* Analysis of changes in hardness of a metal surface layer in areas of high stress and methods of determining residual life of parts for mining machines / I.E. Zvonarev, S.L. Ivanov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2016, 116, 012006.
7. *Zvonarev I.E.* Evaluation of losses in transmission of machinery for development of mineral deposits in conditions of variable load / I.E. Zvonarev, S.L. Ivanov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, 87, 022024.

УДК 656.1

СПОСОБЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЙ БАЗЫ ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В РОССИИ

Ваганенкова Вера Аркадьевна,
Соломатина Юлия Сергеевна,
группа ТОП-16,
Санкт-Петербургский горный университет, электромеханический факультет, кафедра транспортно-технологических процессов и машин

Аннотация. Совершенствование подвижного состава в транспортной отрасли оказывает значительное влияние на качество и безопасность осуществления перевозок. В настоящее время происходит развитие информационных технологий и повсеместное внедрение их во все сферы производства. Тенденции в отрасли автомобильного транспорта связаны с внедрением беспилотных транспортных средств на дороги общего пользования с целью снижения уровня дорожно-транспортного травматизма. Развитию технологий препятствует действующее в странах, в частности, в России, законодательство. Целью данного исследования является разработка и предложение путей совершенствования законодательной базы для внедрения беспилотных автотранспортных средств на территории Российской Федерации.

Ключевые слова: беспилотные транспортные средства; автомобильный транспорт; нормативно-правовая база; законодательство

WAYS OF IMPROVING THE REGULATORY BASE FOR THE IMPLANTATION OF AUTONOMOUS VEHICLES IN RUSSIA

Vaganenkova Vera Arkadyevna,
Solomatina Yulia Sergeevna,
group TOP-16,
Saint-Petersburg Mining University, Electromechanical Faculty, Department of Transport and Technological Processes and Machines

Abstract. Improvement of rolling stock in the transport industry has a significant impact on the quality and safety of transportation. Currently, the development of information technologies and their widespread introduction into all spheres of production are underway. Trends in the automotive industry are related to the

introduction of autonomous vehicles on public roads in order to reduce road traffic injuries. The development of technology is hampered by legislation in force in countries, in particular in Russia. The purpose of this study is to develop and propose ways to improve the legislative framework for the introduction of autonomous vehicles in the territory of the Russian Federation.

Keywords: autonomous vehicles; automobile transport; regulatory framework; legislation

Проблема совершенствования нормативно-правовой базы для внедрения беспилотных транспортных средств (далее – БПТС) с каждым днем становится все более актуальной. Данное направление в развитии транспортной отрасли одно из самых перспективных, т.к. подобные разработки поспособствуют увеличению безопасности дорожного движения. Согласно Докладу Всемирной Организации Здравоохранения за 2015 год [1] и статистике РосСтат [2], дорожно-транспортный травматизм - основная причина смертности среди населения. По прогнозам Института страхования дорожного движения (IHSS) [3] и консалтинговой компании McKinsey [4], повсеместное внедрение БПТС снизит аварийность на дорогах до 86-90%.

Как в России, так и в других странах законодательная база не соответствует темпам развития технологий. В Венскую конвенцию о дорожном движении по-прежнему не внесены поправки относительно обязанности водителя об отслеживании ситуации на дороге и контроле транспортного средства, что практически делает невозможным на международном уровне внедрения подобных автомобилей без присутствия оператора в странах, подписавших и ратифицировавших соглашение [5].

Разработка БПТС в России началась относительно недавно. На данный момент действует только один правовой документ, касающийся БПТС: Постановление Правительства РФ от 26.11.2018 №1415 «О проведении эксперимента по опытной эксплуатации на автомобильных дорогах общего пользования высокоавтоматизированных транспортных средств» [6], но оно предполагает только тестирование ТС на дорогах, а не введение в пользование, как это происходит в других странах. Мы предлагаем некоторые пути решения проблем законодательной базы:

1. Согласно Постановлению Правительства РФ от 26.11.2018 №1415 «О проведении эксперимента по опытной эксплуатации на автомобильных дорогах общего пользования высокоавтоматизированных транспортных средств» эксперименты по опытной эксплуатации разрешены только на дорогах Москвы и Казани. Эти города обладают одними из лучших дорожных условий в стране согласно исследованию Финансового университета при Правительстве РФ, и находятся в одной климатической полосе [7]. Поэтому в первую очередь необходимо позволить разработчикам проводить испытания во всех субъектах РФ, т.к. это поспособствует увеличению темпов развития технологий и уменьшит отток денежных средств из экономики страны (отечественные компании вынуждены

проводить тесты на полигонах других стран с более развитым законодательством).

2. Необходимо в первую очередь перенести понятия об автономных транспортных средствах из Постановления Правительства РФ от 26.11.2018 №1415 в новую законодательную базу о БПТС. Данные понятия уже определены:

- «Автоматизированная система вождения» – программно-аппаратные средства, осуществляющие управление транспортным средством без физического воздействия со стороны водителя, с возможностью автоматического отключения при воздействии водителя на органы управления для перехода в режим ручного управления при необходимости, в том числе для предотвращения дорожно-транспортного происшествия

- «Высокоавтоматизированное транспортное средство» – транспортное средство, выпущенное в обращение на территории Евразийского экономического союза, допущенное к участию в дорожном движении на территории Российской Федерации, в конструкцию которого внесены изменения, связанные с его оснащением автоматизированной системой вождения, и не подлежащее отчуждению в период проведения эксперимента.

3. Постановление Правительства РФ от 26.11.2018 №1415 предполагает обязательное оснащение устройством для непрерывной некорректируемой регистрации, запись информации в формате, доступном только для чтения. Для защиты персональных данных в новой законодательной базе необходимо предусмотреть статью, которая разрешает доступ к файлу только на основании официальных запросов от правоохранительных органов.

4. Согласно Постановлению Правительства РФ от 26.11.2018 №1415, БПТС оборудован специальным знаком «Автономное управление», который установлен сзади. Мы считаем данное обозначение неинформативным, особенно для встречных участников движения. Мы предлагаем законодательно закрепить белый цвет для БПТС и добавить обязательную желтую полосу шириной 100 мм по бокам автомобиля.

5. Учитывать при создании нормативно-правовой базы степень автономности транспортных средств на основе классификации ADAS. В Германии был принят восьмой закон о внесении изменений в Закон о дорожном движении от 16 июня 2017 года, действие которого определяет правовое регулирование беспилотных транспортных средств и распространяет его на территории всей страны [8]. В нем указано, что ответственность несет водитель, под которым понимается любое лицо, запускающее транспортное средство. Особенно остро вопрос ответственности встанет, когда автомобили перейдут к последнему уровню автономности. В перспективе можно использовать райдшеринг для БПТС, который будут организовывать определенные АТП, на которые будет ложиться ответственность в случае ДТП. Также можно возложить ответственность на разработчиков, так как коды программного обеспечения, устанавливаемого в транспортное средство, должны соответствовать действующим правилам дорожного движения, чтобы поведение автомобиля

на дороге было основано на Постановлении Правительства РФ от 23.10.1993 №1090 «О правилах дорожного движения» [9]. В случае несоответствия поведения БПТС при осуществлении движения данным правилам, ответственность должна возлагаться на разработчиков

6. Для участия в эксперименте компании должны иметь уставной капитал не менее 100 млн. и застраховать ТС на 10 млн., что не позволит маленьким стартапам законно проводить тестирование своих автомобилей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доклад о безопасности дорожного движения в мире 2015 г. Резюме. https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/ru/
2. Число умерших по основным классам причин смерти. http://www.gks.ru/free_doc/new_site/population/demo/dem4_bd.htm
3. Self-Driving Cars Could Cut Down on Accidents. https://www.wsj.com/articles/self-driving-cars-could-cut-down-on-accidents-study-says-1425567905
4. Self-driving cars and the future of the auto sector. https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/self-driving-cars-and-the-future-of-the-auto-sector
5. Конвенция о дорожном движении.
6. Постановление Правительства РФ от 26.11.2018 №1415 «О проведении эксперимента по опытной эксплуатации на автомобильных дорогах общего пользования высокоавтоматизированных транспортных средств».
7. Состояние дорожного хозяйства в городах РФ. http://www.fa.ru/News/2018-10-02-research70.aspx
8. Восьмой закон о внесении изменений в Закон о дорожном движении от 16 июня 2017 г. / Вестник федеральных законов, часть I, 2017, № 38.
9. Постановление Правительства РФ от 23.10.1993 N 1090 (ред. от 04.12.2018) «О Правилах дорожного движения».

УДК 662.641.093.62

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА СГУЩЕНИЯ ТОРФЯНОЙ ПУЛЬПЫ

Вагапова Эльнара Абдуллаевна,
аспирант,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. Использование торфа как местного вида топлива является целесообразным для многих удаленных районов нашей страны. Повышение эффективности использования торфяных ресурсов позволяет обеспечивать энергобезопасность страны и снижать эмиссионное загрязнение атмосферы, например, в сравнении с использованием углеводородных источников энергии. Изучение фильтрационных свойств и химического состава примесей водных растворов, добытых гидроторфяных пульп, позволяет рационально подходить к процессу водоотделения, а также увеличивать его применением кратковременного магнитного воздействия. Выявленные закономерности и тенденции являются основой инновационной технологий первичного обезвоживания торфяной пульпы.

Ключевые слова: торф; торфяная пульпа; климатосберегающие технологии; обезвоживание; фильтрация; сгущение; процесс водоотделения; воздействие магнитного поля

THE INTENSIFICATION OF THE PEAT PULP THICKENING PROCESS

Vagapova Elnara,
postgraduate student,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. The use of peat as a local fuel is appropriate for many remote areas of our country. Improving the efficiency of the use of peat resources allows to ensure the energy security of the country and reduce the emission pollution of the atmosphere, for example, in comparison with the use of hydrocarbon energy sources. The study of filtration properties and chemical composition of impurities in the aqueous solutions produced gidrotehnik remote, provides an efficient approach to the process of dehydration, and also to increase its application of brief magnetic exposure. The revealed regularities and trends are the basis of innovative technologies of primary dehydration of peat pulp.

Keywords: peat; peat pulp; climate-saving technologies; dehydration; filtration; thickening; dewatering process; influence of a magnetic field

Торф как местный вид топлива не уступает природному газу по себестоимости производства энергии и даже превосходит его и лишь на транспортном плече более ста километров от места добычи становится менее рентабелен чем уголь или дизельное топливо. Поэтому широкое использование торфа как местного вида топлива является экономически целесообразным, и способствует развитию отдаленных и труднодоступных районов при повышении уровня энергетической безопасности этих районов и страны в целом.

Применение технологий при добыче и переработке торфяного сырья в рамках климатически-нейтральной хозяйственной деятельности делают торфяное сырье еще более привлекательным. Однако для реализации таких инновационных технологий необходимо создание соответствующего горного оборудования, а для научного обоснованного выбора его параметров требуется проведение соответствующих исследований. Новые технологии добычи и переработки торфа создаются на основе фундаментальных и прикладных исследований с учетом особенностей исходного торфяного сырья [1, 2, 3, 4, 5]. Изучение фильтрационных свойств и химического состава торфяных систем позволяет эффективно и рационально решить задачу обезвоживания торфяной пульпы при добыче торфа гидромеханизированным способом. Естественный процесс сгущения торфяной пульпы инерционен и длителен, при этом требует задействования больших площадей для его реализации.

Возможность значительной интенсификации процессов сгущения и фильтрования реализуется применением коагулянтов и воздействием на пульпу полей различной природы [6, 7, 8, 9]. При коагуляции мелкодисперсных составляющих торфяной пульпы скорость оседания их повышается, при этом возрастает и водопроницаемость осадков на фильтрах. А применение, например, магнитной обработки для интенсификации сгущения еще более усиливает эффект водоотделения [10].

Разработками «Гидроторфа» определено, что введение в торфяную пульпу коллоидального раствора окиси железа улучшает результат фильтрования и отжатия влаги из торфяной смеси [11, 12, 13]. В ходе экспериментальных исследований автором статьи была определена интенсивность водоотделения при фильтрации пульп с различным по концентрации составом ионов. Так, было определено, что в пульпах с высоким содержанием общего железа быстрее протекает процесс сгущения, а пробы с содержанием катионов магния имеют низкий показатель естественного удаления влаги при фильтрации. Таким образом, можно сделать вывод, что химический анализ торфяной пульпы необходим для решения теоретических и практических вопросов, для выявления генезиса и свойств торфа, а также для интенсификации процесса сгущения торфяной пульпы.

Для интенсификации процесса водоотделения пробы торфяной пульпы подвергались омагничиеванию. Эффект был выявлен при кратковременном воздействии бегущего магнитного поля. Известно, что сгущение смесей

после их омагничевания проверено в промышленных условиях на ряде предприятий, совершенствование многих технологических и биологических процессов основано на направленном изменении физико-химических свойств водных систем путем кратковременного воздействия на них магнитных полей.

Сочетание воздействия магнитного поля с добавлением окиси железа или пульпы с высоким содержанием катионов железа кратно увеличивает эффект водоотделения и, соответственно, ее сгущения.

На основании проведенных исследований предложена инновационная технология первичного обезвоживания торфяной пульпы на борту комплекса по добыче и переработке торфяного сырья, определен состав и параметры необходимого для этого горного оборудования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Направления создания универсальных технологических торфяных машин / А.В. Михайлов [и др.] // Успехи современной науки и образования, 2017, Т. 1 (1), С. 69-73.
2. Пат. 2599117 Российская Федерация, МКП E21 C 49/00. Способ разработки торфяных месторождений / С.Л. Иванов, А.В. Михайлов, И.Е. Звонарев, Ю.Ю. Бондарев, А.Г. Таранов, заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский горный университет. - № 2015108533/03, заявл. 11.03.2015, опубл. 10.10.2016 Бюл. № 28.
3. *Худякова И.Н.* Формирование структуры основного технологического оборудования автономного комплекса для добычи торфа из неосушенного месторождения / И.Н. Худякова [и др.] // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ», 2017, Т. 9 (3).
4. *Khudyakova I.N.* Raw peat production and processing from flooded fields and approaches to maintain dehydration / I.N. Khudyakova, E. A. Vagapova, S.L. Ivanov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, 194, 032010.
5. *Kokonkov A.A.* Autonomous complex module for peat development on watered deposits / A.A. Kokonkov, D.D. Liakh, S.L. Ivanov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, 194, 032011.
6. *Вагапова Э.А.* Об эффективности применения омагничивания торфяной пульпы при обосновании параметров оборудования комплекса для добычи и переработки торфяного сырья / Э.А. Вагапова, И.Н. Худякова, С.Л. Иванов // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: 13-я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. В 2 т., Тула, 2017, Т.1, С. 168-173.
7. *Вагапова Э.А.* Сравнительная оценка магнитного воздействия на интенсивность процесса водоотделения при добыче и переработке топливного торфяного сырья обводненных месторождений / Э.А. Вагапова, И.Н. Худякова, С.Л. Иванов // Машины, агрегаты и процессы.

Проектирование, создание и модернизация: Материалы международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург. СПбФ НИЦ МС, 2018, Т. 1, С.158-160.
8. *Классен В.И.* Омагничивание водных систем. - М.: Химия, 1978. – 240 с.
9. *Федоров Г.Б.* Разработка виброакустического модуля для тонкой очистки буровых растворов / Г.Б.Федоров, О.Л. Дудченко, Д.С.Куренков // Записки Горного института, 2018, Т. 234, С. 647-651.
10. *Морозов В.В.* Обезвоживание сапропеля магнитной обработкой / В.В. Морозов, В.Н. Фомин // Техника в сельском хозяйстве, 1993, Т. 5-6, С.31.
11. *Геблер И.В.* О механическом обезвоживании торфяной гидромассы и получении из нее товарного торфа без разлива на полях сушки / И.В. Геблер., В.Н. Пономарев // Известия томского ордена трудового красного знамени политехнического института им. С.М. Кирова, 1965, Т. 136, С.61-67.
12. *Резванова Э.А.* Интенсификация первичного обезвоживания гидроторфяной смеси при добыче торфяного сырья на борту автономного модульного комплекса / Э.А. Резванова, С.Л. Иванов // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: 12-я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. Тула, 2016, С. 200-203.
13. *Вагапова Э.А.* К вопросу о первичном обезвоживании торфяного сырья добытого гидромеханизированным способом / Э.А. Вагапова, И.Н. Худякова, С.Л. Иванов // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: 14-я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. Тула, 2018, С. 230-234.

УДК 621.941.1

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ СФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Важенин Андрей Юрьевич,
аспирант,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. Статья посвящена задаче обеспечения качества изготовления сферических поверхностей из сплавов на основе титана. Предложен метод повышения качества обработки на основе локального пластического деформирования заготовки с последующей лезвийной обработкой пластинами круглой формы на станках с ЧПУ. Представлены результаты экспериментальных исследований шероховатости обрабатываемой поверхности и виброускорений инструментальной системы в процессе обработки.

Ключевые слова: пластическое деформирование; шероховатость поверхности; титан; точение; сферическая поверхность

IMPROVING THE QUALITY OF MANUFACTURING SPHERICAL SURFACES OF TITANIUM ALLOYS

Vazhenin Andrei,
postgraduate student,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. The article is devoted to the task of ensuring the quality and accuracy of manufacturing precision spherical surfaces from titanium alloys. A method is proposed for improving the quality of processing based on local plastic deformation of the workpiece with subsequent blade processing with round-shaped plates on CNC machines. The results of experimental studies of the surface roughness and vibration accelerations of the instrumental system during the processing are presented.

Keywords: plastic deformation; surface roughness; titanium; sharpening; spherical surface

К сферическим поверхностям деталей, изготавливаемых из титановых сплавов и применяющихся в шаровой запорной арматуре, предъявляются повышенные требования в части точности и шероховатости. Сложность изготовления детали «Шар запорный» (рис. 1) заключается как в

технологических свойствах титана (высокая пластичность, вязкость, налипание на режущую кромку инструмента, высокие температуры и усилия в зоне резания), так и в дискретности процесса резания и возникающих вынужденных колебаниях вследствие наличия в заготовке отверстия.

Рис. 1 - Шар запорный

Эффективными методами борьбы с вибрациями в технологических системах механической обработки (ТСМО) с целью обеспечения качества изготовления деталей из титановых сплавов являются предварительное локальное пластическое деформирование (ПЛПД) и использование виброустойчивой инструментальной системы [1–9].

Рассматриваемый метод основан на предварительной подготовке обрабатываемой поверхности посредством локального пластического деформирования на черновых этапах обработки с последующей обработкой резанием пластиной круглой формы на чистовом этапе.

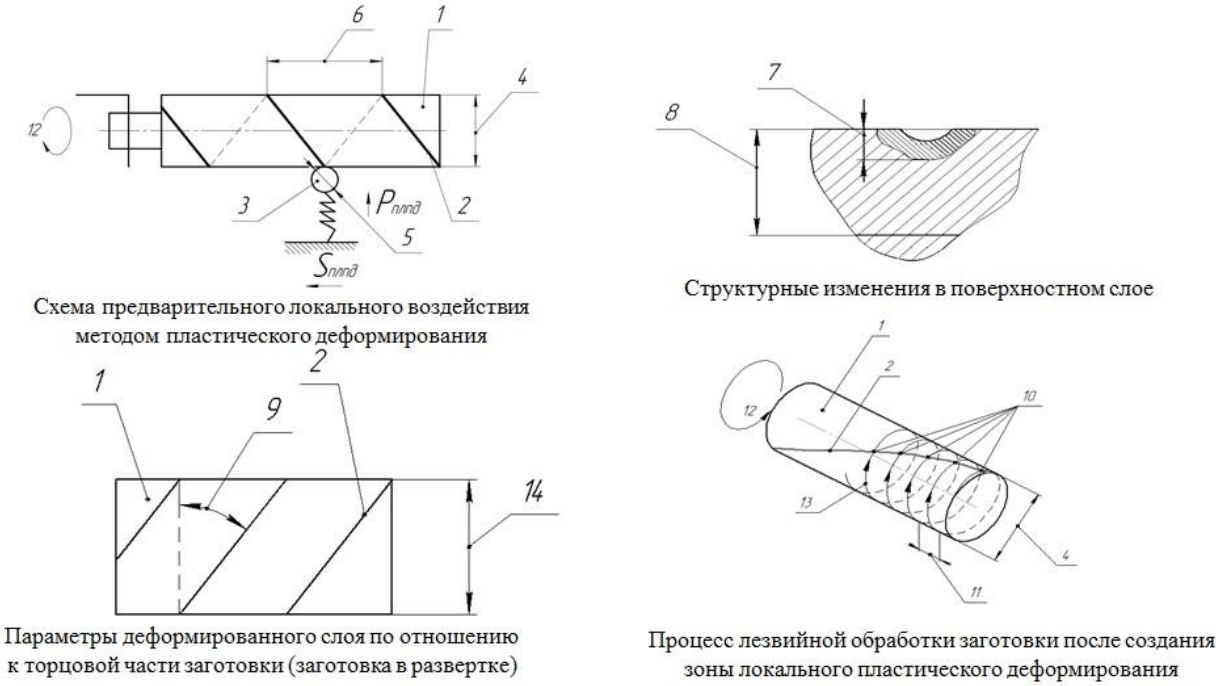


Рис. 2 - Схема ПЛПД:
1 – заготовка; 2 – локальная зона с измененной структурой; 3 – деформирующий шарик; 4 – диаметр заготовки; 5 – диаметр деформирующего шарика; 6 – подача при создании предварительного локального пластического деформирования за один оборот заготовки, Sm; 7 – глубина деформации, h; 8 – величина припуска, $h_{пр}$; 9 – угол наклона деформационного слоя; 10 – точки пересечения плоскости резания с зоной ПЛПД; 11 – подача резания, Sp; 12 – частота вращения заготовки, n_p; 13 – плоскость резания; 14 – длина окружности заготовки

Метод ПЛПД (рис. 2) заключается в том, что поверхностный слой заготовки при контакте с инструментом (роликом или шариком) высокой твердости, подвергается пластической деформации, при этом в поверхностном слое заготовки создается неоднородная структура, при пересечении которой плоскостью резания возникают вынужденные колебания системы, что влечет за собой снижение автоколебаний всей системы.

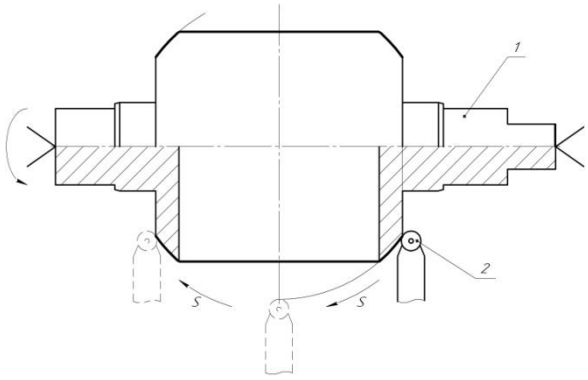


Рис. 3 - Схема обработки сферической поверхности на станке с ЧПУ:
1 – заготовка, 2 инструмент с круглой режущей пластиной

При давлении ролика на обрабатываемую сферическую поверхность детали происходит ее локальное пластическое деформирование в зоне контакта. При задании различных вращательных и поступательных движений индентора можно обрабатывать плоские, цилиндрические, фасонные поверхности (рис. 3).

Далее предлагается осуществлять токарную обработку на высокопроизводительном станке с системой ЧПУ. При этом используется державка с установленной круглой режущей пластинкой из твердосплавного материала. Режущий инструмент по закону круговой интерполяции осуществляет обработку сферической поверхности, при этом не требуется переустанов заготовки [10–16].

Экспериментальные исследования шероховатости на станции «MMQ 400 CNC» производства фирмы «MAHR» (Германия) при обработке с ПЛПД на примере сплава ВТ1-0 показали улучшение качества обработки поверхности в 1,7–1,9 раза по сравнению с обычным резанием.

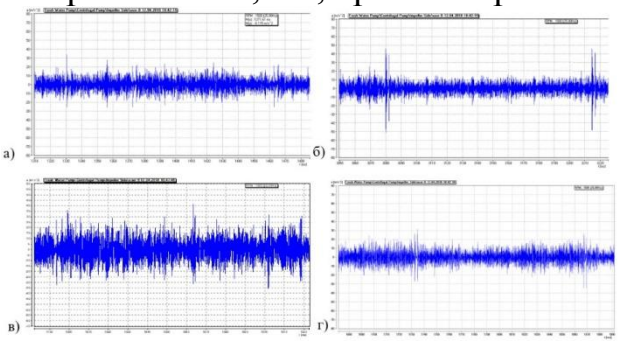


Рис. 4 - Параметры виброускорений инструментальной системы при:
а), б) – точении марки стали Ст45; в), г) – сплава 3М; а), в) – без ПЛПД; б), г) – с ПЛПД

Проведены исследования виброускорений инструментальной системы при обработке различных материалов (рис. 4) традиционным точением и с применением ПЛПД.

Таким образом, применение метода локального пластического деформирования позволяет улучшить качество обрабатываемой поверхности, снизить ее шероховатость, улучшить эксплуатационные свойства деталей из титановых сплавов. Применение данного метода существенно снижает нагрузку на режущий инструмент, повышая его стойкость, о чем можно судить по показателям виброускорений. Предлагаемый способ токарной обработки позволяет осуществить изготовление сферической

поверхности без переустановки детали на станке, что существенно экономит время на изготовление детали, повышая производительность.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Максаров В.В.* Повышение точности и качества изготовления деталей из титана и титановых сплавов на основе предварительного локального пластического деформирования / В.В. Максаров, Е.В. Кошелева // Качество и жизнь, 2016, Т. 3(11), С. 66–69.
2. *Максаров В.В.* Повышение качества изготовления деталей из титановых сплавов методом локального пластического деформирования / В.В. Максаров, Е.В. Кошелева, А.Ю. Важенин // Вестник РГАТУ имени П.А. Соловьева, 2017, Т. 1(40), С. 268–275.
3. *Максаров В.В.* Технологическое обеспечение качества прецизионных поверхностей деталей типа «тел вращения» из титановых сплавов / В.В. Максаров, Е.В. Кошелева, А.Ю. Важенин // Металлообработка, 2018, Т. 4(106), С. 52–60.
4. *Кошелева Е.В.* Технология изготовления прецизионных поверхностей деталей из титановых сплавов с применением метода локального пластического деформирования / Международная научно-практическая конференция «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2018», 2018, С. 30.
5. *Maksarov V.V.* Simulation of dynamic processes when machining transition surfaces of stepped shafts / V.V. Maksarov, V.A. Krasnyy, R.V. Viushin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 022047.
6. *Максаров В.В.*Теория и практика моделирования и управления в области прогнозирования динамических свойств технологических систем / В.В. Максаров, Ю. Ольт // Металлообработка, 2012. Т. 2(68), С. 5–12.
7. *Maksarov V.V.* Dynamic stabilization of technological systems for processing edge cutting through local metastability / V.V. Maksarov, J. Olt, M. Madissoo // Proceedings - 2011 IEEE International Symposium on Assembly and Manufacturing, ISAM 2011, 2012, С. 181-186.
8. *Тимофеев Д.Ю.* Повышение точности изготовления прецизионных поверхностей детали шток гидроцилиндров / Д.Ю. Тимофеев, А.Е. Ефимов // Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, С. 142-145.
9. *Красный В. А.* Оценка влияния шероховатости поверхности на повышение прочности сцепления износостойкого напыляемого покрытия / В.А. Красный, В.В. Максаров // Металлообработка, 2014, Т. 5, С. 47–51.
10. *Попок Н.Н.* Способы обработки сферических поверхностей деталей и технологическое оснащение для их реализации / Н.Н. Попок [и др.] // Материалы, технологии и оборудование в производстве, эксплуатации, ремонте и модернизации машин: сб. науч. тр. VII Междунар. науч.-техн. конф. в 3-х т. Новополоцк. ПГУ, 2009, Т. 2, С. 315–319.

11. *Постнов В.В.* Методологические аспекты комплексного диагностирования процесса резания при токарной обработке жаропрочных сплавов / В.В. Постнов, Б.Ф. Усманов, А.Ю. Федоровцев // Вестник УГАТУ, 2012, Т. 16, №8 (53), С. 129–133.
12. *Попок Н.Н.* Способы обработки сферических поверхностей деталей и технологическое оснащение для их реализации / Н.Н. Попок, Р.С. Хмельницкий, Г.И. Гвоздь // Материалы, технологии и оборудование в производстве, эксплуатации, ремонте и модернизации машин: сб. науч. тр. VII Междунар. науч.-техн. конф. в 3-х т. Новополоцк, ПГУ, 2009, Т. 2, С. 315-319.
13. *Важенин А.Ю.* Обеспечение точности и качества изготовления сферических поверхностей деталей судовой арматуры / Научный центр «Орка». Вестник современных исследований, 2017, Т. 11-1(14), С. 180–182.
14. *Хмельницкий Р.С.* Анализ конструкций технологического оснащения для точения выпуклых сферических поверхностей на универсальных токарных станках / Р.С. Хмельницкий, А.С. Максимчук // Труды молодых специалистов Полоц. гос. университета, Новополоцк, ПГУ, 2013. Т. 68, С. 89–91.
15. Комплексные исследования физических и технологических характеристик процесса обработки сферических поверхностей деталей / Н.Н. Попок [и др.] // Вестник Белорусско-Российского университета, 2017, Т. 2(53), С. 87–97.
16. *Максаров В.В.* Влияние структурных параметров режущей керамики на работоспособность инструмента при обработке прецизионных поверхностей деталей горных машин / В.В. Максаров, А.Д. Халимоненко // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2017, Т. 8 (1), С 56-64.

УДК 621.31

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ГИБРИДНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Васильков Олег Сергеевич,
аспирант,
Ивершина Валентина Александровна,
группа ПЭ-16,
Федоров Никита Николаевич,
группа ЭС-17,
Санкт-Петербургский горный
университет

Аннотация. В статье представлен сравнительный анализ различных типов накопителей электроэнергии, рассмотрена возможность использования гибридного накопителя в качестве компенсатора кратковременных колебаний активной мощности. Рассматриваются особенности совместного использования аккумуляторных батарей и суперконденсаторов. Построена имитационная модель гибридного накопителя электроэнергии, подтверждающая целесообразность его применения.

Ключевые слова: аккумуляторная батарея; суперконденсатор; гибридный накопитель электроэнергии

IMPROVING THE RELIABILITY OF ELECTRICAL SUPPLY OF INDUSTRIAL ENTERPRISE DURING THE APPLICATION OF HYBRID ELECTRIC ENERGY DRIVE

Vasilkov Oleg Sergeevich,
postgraduate student,
Ivershina Valentina Alexandrovna,
group PE-16,
Fedorov Nikita Nikolaevich,
group ES-17,
Saint-Petersburg Mining University

Abstract. The article presents a comparative analysis of various types of energy storage devices, considers the possibility of using a hybrid energy storage device as a compensator of short-term oscillations of active power. The features of the joint use of batteries and supercapacitors are presented. A simulation model of a hybrid energy storage device was built to evaluate the efficiency of sharing and determining the applications of such storage devices.

Keywords: battery; supercapacitor; hybrid energy storage system

К настоящему времени создан широкий спектр накопителей, построенных на различных принципах, различающихся как технико-экономическими показателями, так и функциональным назначением, среди которых следует, прежде всего, выделить аккумуляторные батареи. Сравнительные характеристики АКБ с различными типами электролитов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительные характеристики АКБ с различными типами электролитов

	Емкость одного элемента, А·ч	Энергетическая плотность, Вт·ч/кг	Число циклов заряда/разряда	Допустимый диапазон температуры заряда, °С	Допустимый диапазон температуры разряда, °С
Lead Acid	26–3000	30–60	200–1200	-20 °С – 50 °С	-20 °С – 50 °С
Li-ion	40–800	80–160	700–3000	0 °С – 45 °С	-20 °С – 60 °С
NiCd	10–1100	45–80	1500	0 °С – 45°С	-20 °С – 65 °С
Ni-NaCl	40–200	140–190	3000–7000	0 °С – 45 °С	-20 °С – 65 °С
NiMH	0,3–7	60–120	300–500	0 °С –45 °С	-20 °С – 65 °С

Наибольшее применение в промышленных накопителях электроэнергии получили литий-ионные и никель-кадмиевые аккумуляторные батареи, недостатками которых являются высокая стоимость и срок их службы, который напрямую зависит от количества и характера циклов «заряд – разряд» в процессе эксплуатации. Именно два этих показателя являются главными, сдерживающими факторами в повсеместном применении накопителей электроэнергии и использовании устройств на основе полностью управляемых полупроводниковых приборов, таких как динамический компенсатор искажения напряжения (ДКИН) либо статический компенсатор реактивной мощности (СТАТКОМ) [1-6]. Также в [7] отмечается другой сдерживающий фактор применения АКБ, а именно время отклика накопителя. Время отклика аккумуляторных батарей составляет до 60 мс по данным Electric Power Research Institute (Научно-исследовательский институт электроэнергетики, США). Данный фактор может оказать существенное влияние при выборе накопителя электроэнергии, так как для некоторых технологических процессов перебои электроснабжения даже на 20 мс является критичными [8-11].

Однако вышеперечисленных недостатков практически лишены суперконденсаторы. Отличительными особенностями суперконденсаторов являются их способность быстро заряжаться неограниченное количество раз и разряжаться за время от нескольких миллисекунд до десятков минут, отдавая высокую мощность в нагрузку. Недостатками и ограничительными факторами применения СК являются относительно низкая плотность энергии

и высокий саморазряд. Также стоит отметить, что время отклика СК составляет от 1 мкс. Более подробные характеристики СК представлены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики СК

	Емкость одного элемента, Ф	Энергетическая плотность, Вт·ч/кг	Число циклов заряда/разряда	Допустимый диапазон температуры заряда, °С	Допустимый диапазон температуры разряда, °С
СК	500–12 000	1–10	>500 000	-40 °С – 65 °С	-40 °С – 65 °С

Учитывая приведенные факторы, в настоящее время является перспективным применение АКБ совместно с СК для компенсации недостатков и объединения достоинств, создание гибридных накопителей электроэнергии (ГНЭ).

Для обоснования эффективности совместного использования аккумуляторный батарей и суперконденсаторов была разработана имитационная модель гибридного накопителя, представленная на рис. 1.

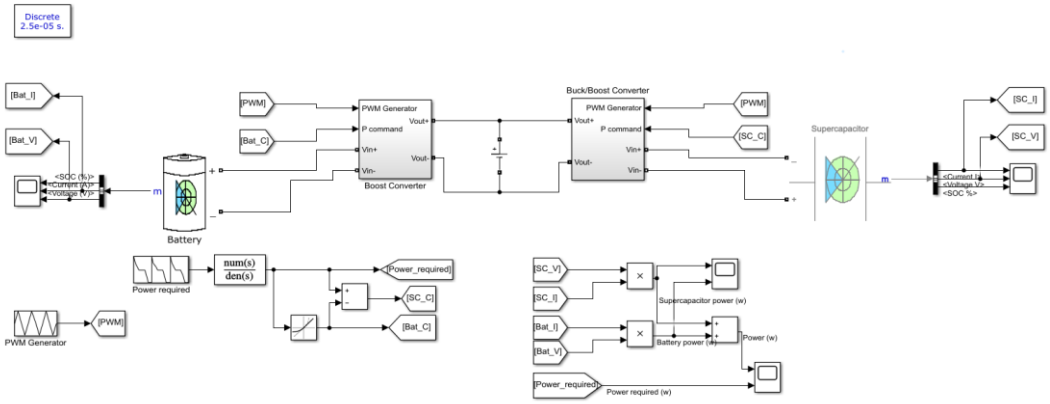


Рис. 1 - Имитационная модель гибридного накопителя электроэнергии

В данной модели имитировалась гибридизация литий-ионной батареи и блока суперконденсаторов с соответствующими характеристиками. При моделировании не учитывался температурный эффект и эффект старения аккумуляторных батарей. Также не представлен саморазряд батареи.

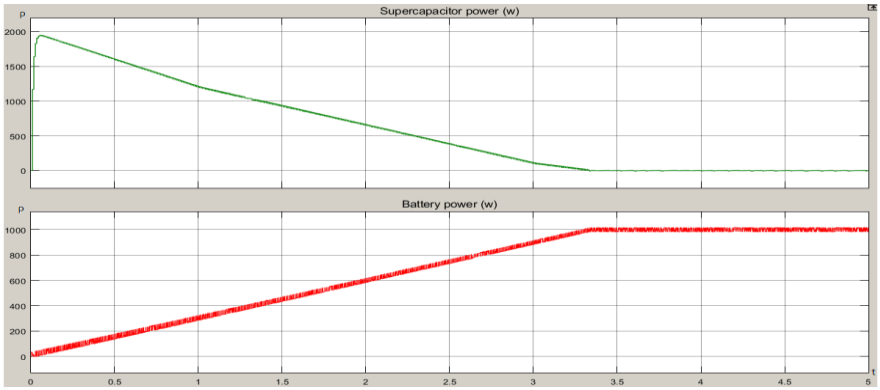


Рис. 2 - График вырабатываемой мощности батареей и блоком суперконденсаторов

В результате моделирования были получены следующие результаты, представленные на рис. 2.

Проанализировав данные зависимости, отметим различия в характере отдачи мощности в сеть. Так как особенностью СК является быстрая разрядка с отдачей большого количества мощности в сеть, поэтому логично использовать данный накопитель для компенсации пиковых провалов. Для аккумуляторных батарей же свойственно медленно разряжаться, постепенно отдавая мощность в сеть, что позволит скомпенсировать более длительные провалы мощности.

На рис. 3 приведен график отдаваемой в сеть мощности гибридного накопителя электроэнергии.

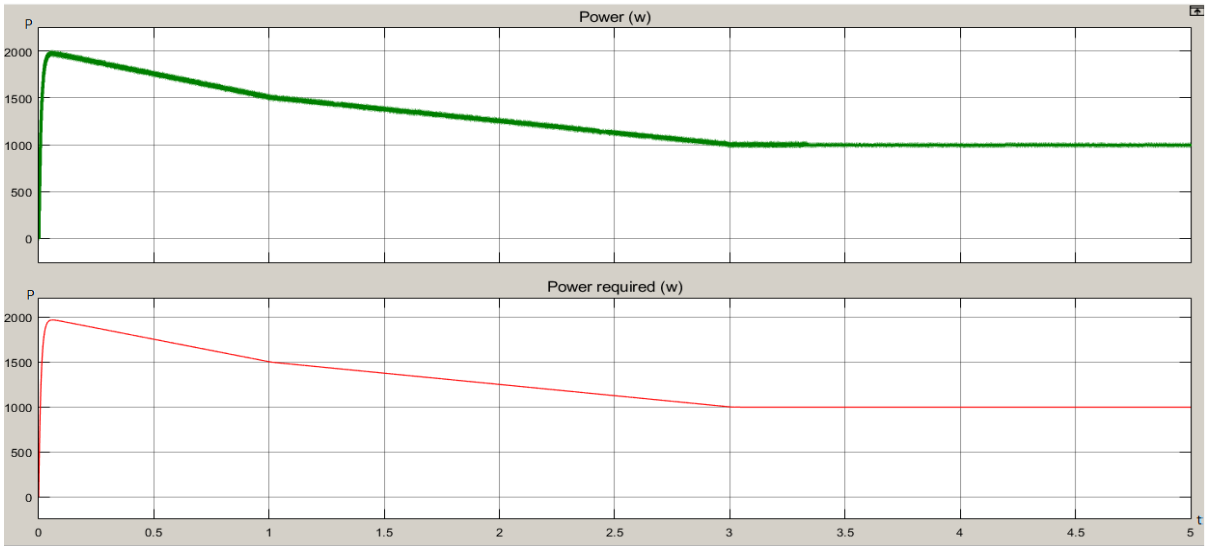


Рис. 3 - График вырабатываемой и требуемой мощности гибридным накопителем электроэнергии

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что совместное использование аккумуляторных батарей и блоков суперконденсаторов позволит решить целый ряд важных функций:

- выравнивание графиков нагрузки в сети;
- демпфирование кратковременных колебаний активной и реактивной мощности и частоты;
- снятие или существенное сокращение нерегулярных колебаний в межсистемных линиях электропередачи для повышение ее пропускной способности;
- обеспечение бесперебойного питания собственных нужд подстанций и особо ответственных потребителей;
- обеспечение стабильной и устойчивой работы децентрализованных и нетрадиционных источников, работающих как автономно, так и в составе единой системы электроснабжения [12].

Однако при создании гибридных накопителей электроэнергии актуальным остается вопрос балансировки СК. Как известно, из-за низкого номинального напряжения суперконденсаторов их использование

подразумевает последовательное соединение, но каждый из них имеет некоторый разброс параметров по емкости. В связи с этим возникает проблема разной скорости заряда суперконденсаторов, а именно: возникает вероятность перезаряда суперконденсатора, что может вызвать его пробой. Появляется необходимость ограничения напряжения на суперконденсаторе при заряде.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шклярский А.Я.* Экономическое обоснование метода регулирования электропотребления предприятия с применением аккумуляторных батарей на примере обогатительной фабрики ОАО «УРАЛКАЛИЙ» / А.Я. Шклярский, Д.И. Иванченко, Э.В. Яковлева // Российский экономический интернет-журнал, 2018, Т. 2, С. 104.
2. *Добуш В.С.* Анализ влияния источников бесперебойного питания на качество электроэнергии в точке общего подключения потребителей / В.С. Добуш, А.А. Бельский // Промышленная энергетика, 2018, Т. 6, С. 29-34.
3. *Shklyarskiy Y.E.* An algorithm for prediction of the dc link voltage of the vfd during voltage sags / Y.E. Shklyarskiy, V.S. Dobush, A.I. Bardanov // Proceedings of the 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus, 2018, С. 763-767.
4. *Соловьев С.В.* Обзор способов электрификации районов со слаборазвитой электроэнергетической инфраструктурой / С.В. Соловьев, А.И. Барданов, Я.Э. Шклярский // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME-2017. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, 2017, С. 215-218.
5. *Белицкий А.А.* Оценка добавочных потерь мощности в электрических сетях с нелинейной и несимметричной нагрузкой / А.А. Белицкий, Я.Э. Шклярский // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2018, Т. 7, С. 86-93.
6. *Шклярский Я.Э.* Влияние графика нагрузки на потери в электрической сети предприятия / Я.Э. Шклярский, С. Пирог // Записки Горного института, 2016, Т. 222, С. 858-863.
7. *Бахтеев К.Р.* Использование накопителей электроэнергии для предотвращения кратковременных нарушений электроснабжения / Материалы VII Международной молодежной научной конференции «Молодежь и XXI век 2017» г. Курск в 4-х томах, 2017, Т. 4, С. 216–219.
8. *Шклярский Я.Э.* Определение напряжения звена постоянного тока частотного электропривода при провалах напряжения / Я.Э. Шклярский, А.И. Барданов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2017, Т. 12-2, С. 447-456
9. *Solovev S.V.* Static load characteristics consideration for determination of transmission line power capacity / S.V. Solovev, S.B. Kryltcov, I.N. Voytyuk // Proceedings of the 2018 IEEE Conference of Russian Young

Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus, 2018, С. 803-806.
10. *Яковлева Э.В.* Анализ перспектив регионального развития интеллектуальных энергетических систем / Э.В. Яковлева, Е.В. Сизякова, П.В. Иванов, Ю.Л. Жуковский, Т.В. Пудкова // Российский экономический интернет-журнал, 2018, Т. 2, С. 107.
11. Гибридный накопитель электроэнергии для ЕНЭС на базе аккумуляторов и суперконденсаторов / Р.Н. Бердников, В.Е. Фортов, Э.Е. Сон, К.К. Деньщиков, А.З. Жук, Ю.Г. Шакарян // Энергия единой сети, 2013, №1.
12. *Скамьин А.Н.* Способы выявления источников высших гармоник в связанных системах электроснабжения промышленных предприятий / А.Н. Скамьин, Ю.В. Растворова // Сборник материалов IV Всероссийской научно-практической конференции «Энергетика и энергосбережение: тео-рия и практика», 2018, С. 262-1–262-3.

УДК 691.168

СОЗДАНИЕ ИНДУКЦИОННО САМОЗАЛЕЧИВАЮЩЕГОСЯ АСФАЛЬТОВОГО ПОКРЫТИЯ

Васинкина Екатерина Юрьевна,
группа а10 ЭТТ-31,
Юдина Виолетта Олеговна,
группа а10 ЭТТ-21,
Сивак Антон Сергеевич,
группа м3 ЭЛЭТ-12,
Институт энергетики
и транспортных систем СГТУ имени
Гагарина Ю.А.

Аннотация. В работе исследована возможность модификации битумного вяжущего графитовым материалом в количестве 0,15% масс. с целью повышения скорости нагрева в СВЧ электромагнитном поле. Применение ультразвукового диспергирования позволяет обеспечить равномерность распределения малого количества модифицирующей добавки в битуме.

Ключевые слова: битумное вяжущее; графитовый материал; модификация; СВЧ электромагнитное поле; ультразвуковое диспергирование

CREATING AN INDUCTIVE SELF-TREATED ASPHALT COATING

Vasinkina Ekaterina Yurievna,
group a10 ETT-31,
Yudina Violetta Olegovna,
group a10 ETT-21,
Sivak Anton Sergeevich,
group м3 ELET-12
Institute of Energy and Transport Systems,
Yuri Gagarin Technical University of
Saratov

Abstract. The article investigates the possibility of modifying a bituminous binder with a graphite material in an amount of 0.15% by weight. in order to increase the heating rate in the microwave electromagnetic field. The use of ultrasonic dispersion allows for uniform distribution of a small amount of modifying additive in bitumen.

Keywords: bituminous binder, graphite material, modification, microwave electromagnetic field, ultrasonic dispersion.

Известно, что в большой степени долговечность дорожного покрытия зависит от качества используемого битума. В зимний период, при отрицательных температурах битум становится хрупким, на поверхности и в объеме асфальтобетона образуются трещины и дефекты, что в итоге приводит к снижению долговечности и необходимости проведения ремонта дорожного покрытия.

В литературе имеются сведения об использовании СВЧ-излучения для ремонта дорог в России, Франции, США и других странах [1, 2]. Однако, битумное вяжущее радиопрозрачно [3] для СВЧ электромагнитного излучения. Поэтому ведутся активные исследования по модификации битума различными СВЧ восприимчивыми материалами [4-6].

В данной работе для улучшения радиопоглощающих способностей в СВЧ диапазоне битум марки БНД 60/90 (ГОСТ 22245-90) модифицировали графитовым материалом.

Введение модификатора в количестве 0,05-0,10% масс. не оказывает влияния на скорость нагрева битумного вяжущего в СВЧ электромагнитном поле. Изменение температуры модифицированного таким количеством графитового материала битума при нагреве в течение 300-350 секунд аналогично изменениям температуры исходного битума. При введении 0,15% массы графитового материала уже после 120 секунд наблюдается изменение температуры (рис. 1), достигающей значений около 140^0С после 350 секунд нагрева.

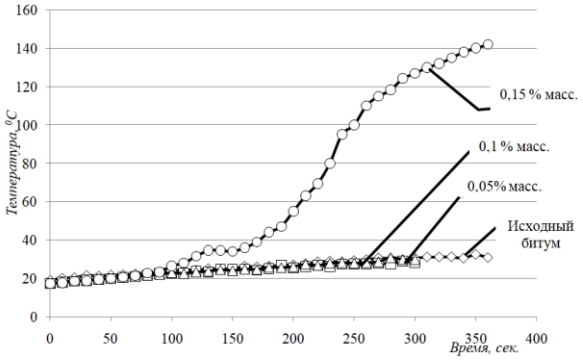


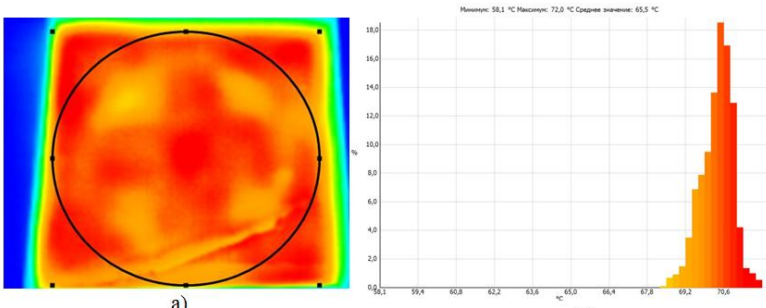
Рис. 1 – Зависимость температуры исходного и модифицированного битума от продолжительности СВЧ воздействия

Важной задачей является равномерное распределение модифицирующего графитового материала по объему битумного вяжущего.

Для решения этой задачи использовали ультразвуковой диспергатор. В нагретый до температуры 120^0С битум добавляли модифицирующую добавку и проводили диспергирование.

Оценку равномерности распределения производили по неравномерности нагрева модифицированного битумного вяжущего, фиксируемого тепловизором.

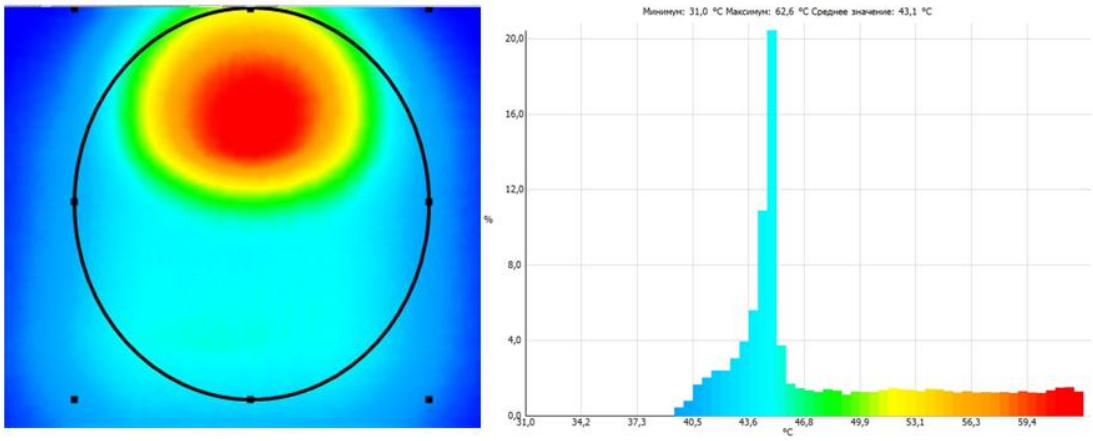
При времени диспергирования 15 минут обеспечивается требуемая равномерность распределения модифицирующего графитового материала в объеме битума, что подтверждается однородностью температурного поля в результате СВЧ воздействия (рис. 2).



а) б)

Рис. 2 – Теплограмма (а) и гистограмма температурного поля (б) после 5 минут ультразвукового диспергирования модифицирующего графитового материала после нагрева в СВЧ установке

При дальнейшем увеличении времени диспергирования наблюдается агломерация частиц графитового модификатора, приводящая к неоднородность температурного поля и локальным перегревам в области нахождения агломерата графитового модификатора (рис. 3).



а) б)

Рис. 3 – Теплограмма (а) и гистограмма температурного поля (б) после 90 минут ультразвукового диспергирования модифицирующего графитового материала после нагрева в СВЧ установке

Таким образом, экспериментально показана перспективность введении 0,15% масс. графитового материала, что проявляется в повышении скорости нагрева битумного вяжущего в СВЧ электромагнитном поле, а также возможность равномерного распределения модифицирующей добавки в битуме путем ультразвукового диспергиролвания.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Карпенко Ю.В.* Машины для СВЧ-разогрева асфальтобетонных покрытий / Ю.В. Карпенко, В.Н. Нефедов. - М.: Автомоб. дороги: Обзорн. информ. Информавтодор; Вып. 1, 1997. - 51 с.

2. Энергосберегающая технология ремонта асфальтобетонных покрытий с применением СВЧ-устройства / В.И. Зеленцов, В.П. Базуев, В.Н. Веник, А.Л.

Базилевич, И.В. Савельков // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета, 2012, Т. 2, С. 111-119.
3. Возможен ли разогрев битума с помощью СВЧ-поля? Сайт НПП «Газэнергохим».
http://www.gazenergohim.ru/articles/41/.
4. Пат. США 4.849.020 «Асфальтовые смеси и способ восстановления (ремонта) асфальта с помощью СВЧ-излучения».
5. Патент КНР №101736671 «Радиопоглощающая асфальтобетонная композиция для дорожного покрытия».
6. Патент РФ RU 2637701 «Радиопоглощающая асфальтобетонная смесь и дорожное покрытие, выполненное из этой смеси». В.П. Кудрявцев, В.А. Слугин, Т.С. Широкова.

УДК 678.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ СВЧ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОЦЕСС ОТВЕРЖДЕНИЯ ЭПОКСИДНЫХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Васинкина Екатерина Юрьевна,
группа а10 ЭТТ-31,
Юдина Виолетта Олеговна
группа а10 ЭТТ-21,
Сивак Антон Сергеевич,
группа м3 ЭЛЭТ-12,
Институт энергетики
и транспортных систем СГТУ имени
Гагарина Ю.А.

Аннотация. В работе установлена целесообразность обработки порошковых композиций в СВЧ электромагнитном поле. Выявлено влияние удельной поглощенной мощности на температуру эпоксидного материала, свидетельствующее о наличии характерных областей, отвечающих изменению свойств материала, наиболее перспективной является область термического воздействия. Изучено влияние удельной поглощенной СВЧ мощности на химические изменения обработанных в СВЧ электромагнитном поле композиций, что проявляется в изменении инфракрасных спектров спектров образцов, а также в повышенной хемостойкости эпоксидного порошкового материала.

Ключевые слова: эпоксидный порошковый материал; модификация; СВЧ электромагнитное поле; структура и свойства

INVESTIGATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE EFFECT OF A MICROWAVE ELECTROMAGNETIC FIELD IN THE PROCESS OF CURING EPOXY POWDER MATERIALS

Vasinkina Ekaterina Yurievna,
group a10 ETT-31,
Yudina Violetta Olegovna,
group a10 ETT-21,
Sivak Anton Sergeevich,
group м3 ELET-12
Institute of Energy and Transport Systems,
Yuri Gagarin Technical University of
Saratov

Abstract. In the article establishes the feasibility of processing powder compositions in the microwave electromagnetic field. The influence of the specific absorbed power on the temperature of the epoxy material, indicating the presence of characteristic regions corresponding to a change in the properties of the material, is revealed. The most promising is the area of thermal exposure. The effect of the specific absorbed microwave power on the chemical changes of the compositions processed in the microwave electromagnetic field is studied, which is manifested in a change in the infrared spectra of the spectra of the samples, as well as in the enhanced chemical resistance of epoxy powder material.

Keywords: epoxy powder material; modification; microwave electromagnetic field; structure and properties

Порошковые полимерные материалы широко применяются в различных отраслях промышленности – в строительстве, нефтегазовой индустрии, медицине, для окрашивания товаров, что обусловлено высокими декоративными, механическими и антикоррозионными свойствами получаемого покрытия.

Широкое применение порошковых материалов стимулирует разработчиков создавать новые или модифицировать уже существующие рецептуры для придания им улучшенных или специфических свойств [1, 2].

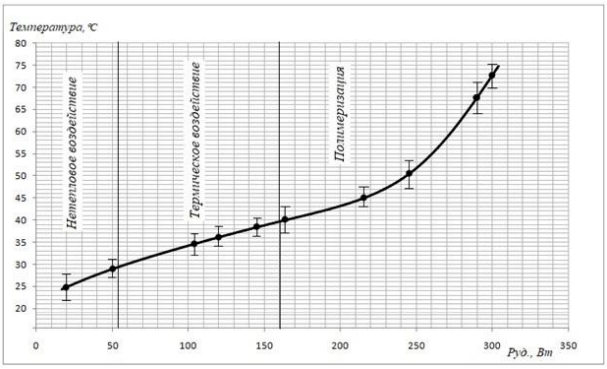


Рис. 1 - Влияние удельной поглощенной мощности на температуру эпоксидного порошкового материала

В данной работе для повышения качества эпоксидного порошкового материала проводилась его модификация путем воздействия СВЧ электромагнитного поля [3-6].

В результате проведенных исследований установлена температурная зависимость эпоксидного материала от уровня удельной поглощенной мощности (рис. 1), свидетельствующая о наличии 3 характерных областей, отвечающих изменению свойств материала. В области, так называемого нетеплового воздействия, которая отвечает подъему температуры объекта на 2-3 градуса при уровни удельной поглощенной мощности образцом до 50 Вт. Вторая характерная область при уровни удельной поглощенной мощности образцом от 50 Вт до 160 Вт это область термического воздействия и третья область – это область полимеризации при уровни удельной поглощенной мощности образцом более 160 Вт.

Исследование материалов на степень отверждения показало, что степень отверждения для всех материалов высокая и составляет более 99%, это свидетельствует о полной сшивке эпоксидного композита.

Анализ данных ИК-спектроскопии (рис. 2) показал наличие в композите ОН-групп (3446см$^{-1}$), CH_2 (2967см$^{-1}$), CH_3 (2928-2873см$^{-1}$), подтвержденных пиками их деформационных колебаний. Определены эпоксидные (1246см$^{-1}$ валентные и 814см$^{-1}$ деформационные) группы, замещенный ароматический углеводород (1034см$^{-1}$), что точно соответствует строению эпоксидного олигомера.

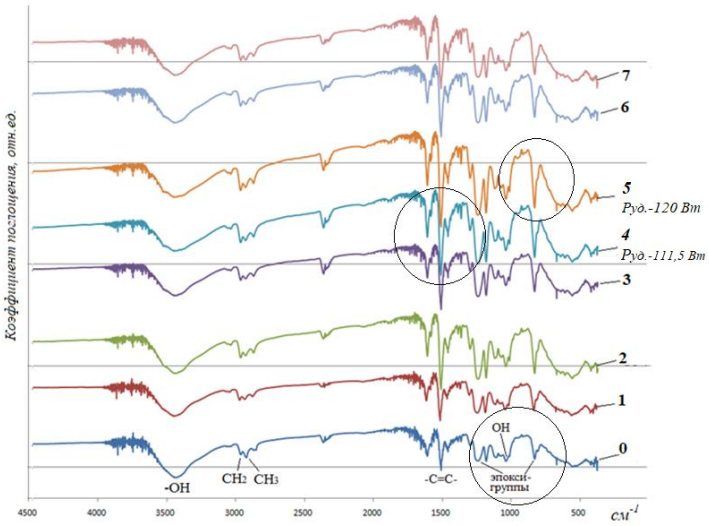


Рис. 2 - ИК- спектроскопия эпоксидной порошковой композиции:
0 – исходный образец, 1-7 – СВЧ модифицированные ПКМ

В отвержденном материале повышается интенсивность деформационных колебаний ОН групп (1030 см$^{-1}$), эпоксидных групп (1246см$^{-1}$ и 814см$^{-1}$) и -С=С- группы ароматического кольца (1500 см$^{-1}$) из-за влияния СВЧ-обработки для всех образцов по сравнению с исходным порошковым материалом, особенно это проявляется в образцах с удельной поглощенной мощностью 111,5 Вт и 120 Вт.

По результатам ИК спектроскопии для исследования к статическому воздействию жидкости интерес представляют исходные образцы и СВЧ модифицированные композиции, с удельной поглощенной мощностью 111,5 и 120 Вт. Порошковое эпоксидное покрытие наносилось электростатическим способом на предварительно подготовленные металлические пластины и согласно ГОСТу данные образцы подверглись испытанию в концентрированных (40%) соляной кислоте и щелочи в течение 24 часов.

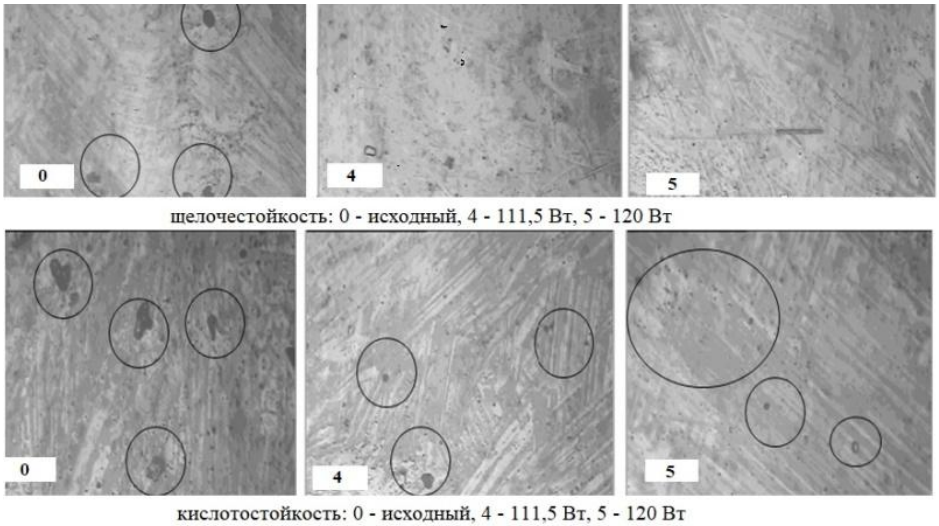


Рис. 3 - Влияние СВЧ-обработки на стойкость эпоксидного порошкового материала к статическому воздействию жидкости

Как видно из данных оптической микроскопии (рис. 3), СВЧ-обработка повышает стойкость эпоксидного порошкового материала, электростатически нанесенного на металлические пластины, к влиянию агрессивных сред.

Исследование образцов с удельной поглощенной мощностью 120 Вт методом дифферициально-термического анализа показало, что потери массы не изменяются, также не происходит смещение пика основной стадии деструкции, что свидетельствует о высокой термостойкости эпоксидного материала.

Таким образом, выявлено влияние удельной поглощенной СВЧ мощности на температуру эпоксидного материала, свидетельствующее о наличии характерных областей, отвечающих изменению свойств материала. Наиболее перспективной является область термического воздействия при уровне удельной поглощенной мощности образцом от 50 до 160 Вт. Установлено влияние удельной поглощенной СВЧ мощности на химическое взаимодействие в порошковых композициях, что проявляется в изменении их инфракрасных спектров, а также в повышенной хемостойкости эпоксидного порошкового материала.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мюллер Б.* Лакокрасочные материалы и покрытия. Принципы составления рецептур / Б. Мюллер, У. Пот. – М.: Пейнт-Медиа, 2007. – 564 с.
2. Методы измерения зарядов частиц порошковой краски при нанесении в электрическом поле / А.В. Панюшкин, В.В. Панюшкин // Вестник Московского энергетического института, 2011, Т. 5, С. 23-29.
3. *Vasinkina E.Y.* Phase transitions in polymers under influence of microwave electromagnetic field / E.Y. Vasinkina, S.G. Kalganova, V.S. Alekseev, I.I. Artyukhov, Y.A. Kadykova, S.V. Arzamastsev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 194(3), 032029.
4. *Kalganova S.G.* Calculating the working chamber of a microwave electrical processing installation for modifying polymeric fibres / Elektrichestvo, 2005, Vol. 8, C. 52-54.
5. *Kalganova S.G.* The use of the nonthermal effect of microwave electromagnetic oscillations for modifying polycaproamide fibres / S.G. Kalganova, M.Yu. Morozova // Elektrichestvo, 2004, Vol. 5, C. 44-46.

УДК 678.6

ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ МАТРИЦЫ НАПОЛНЕННОЙ ДИСПЕРСНЫМ БАЗАЛЬТОМ

Васинкина Екатерина Юрьевна,
группа а10 ЭТТ-31,
Юдина Виолетта Олеговна
группа а10 ЭТТ-21,
Сивак Антон Сергеевич,
группа м3 ЭЛЭТ-12,
Институт энергетики
и транспортных систем СГТУ имени
Гагарина Ю.А.

Аннотация. В работе изучена возможность и эффективность применения дисперсного базальта в качестве наполнителя для эпоксидной смолы, что позволяет расширить области применения данного наполнителя для создания полимерматричных композиционных материалов широкого спектра назначения.

Ключевые слова: базальт; эпоксидная смола; физико-химические и механические свойства; пластификатор

POLYMERIC MATERIALS BASED ON EPOXY MATRIX FILLED WITH DISPERSE BASALT

Vasinkina Ekaterina Yurievna,
group a10 ETT-31,
Yudina Violetta Olegovna,
group a10 ETT-21,
Sivak Anton Sergeevich,
group м3 ELET-12
Institute of Energy and Transport Systems,
Yuri Gagarin Technical University of
Saratov

Abstract. The article explored the possibility and effectiveness of the use of dispersed basalt as a filler for epoxy resin, which allows expanding the field of application of this filler to create polymeric matrix materials of a wide range of purposes.

Keywords: basalt; epoxy; physicochemical and mechanical properties; plasticizer

Эпоксидные материалы перспективны для использования в качестве пропиточных и заливочных компаундов, клеев, удовлетворяющих соответствующим требованиям таких отраслей промышленности как строительная, приборостроительная, автомобилестроение, электротехническая и др.

Вместе с тем, многими отраслями промышленности предъявляется заданный уровень требований к материалам по пожарной безопасности, а эпоксидные смолы характеризуются высокими потерями массы при горении (78%) и низким значением показателя воспламеняемости - кислородным индексом (19-22% объем.). Кроме того, эпоксидные смолы и материалы на их основе хрупки. Поэтому разработка методов направленного регулирования свойств эпоксидных материалов путем модификации пластификаторами, замедлителями горения (антипиренами) и введением наполнителей приобретает особую значимость и актуальность [1-4].

В данном исследовании в качестве замедлителя горения и пластификатора применялось фосфорсодержащее соединение - три - (β-хлорэтилфосфат) (ТХЭФ), отвердителем для эпоксидного олигомера ЭД-20 служил полиэтиленполиамин (ПЭПА), а в качестве наполнителя впервые использовался дисперсный минеральный наполнитель – базальт, полученный измельчением природного базальта на шаровой мельнице в течение 3 часов при 50 об/мин. После помола для удаления не размолотых частиц базальт просеивали через сито диаметром 140 мкм.

Частицы базальта после измельчения имеют нерегулярную форму (рис. 1), с размером от 0,5 до 140 мкм (рис. 2), причем максимально содержание частиц со средним размером ~ 50 мкм. Отмечена агломерация частиц, что может свидетельствовать о высокой активности их поверхности.

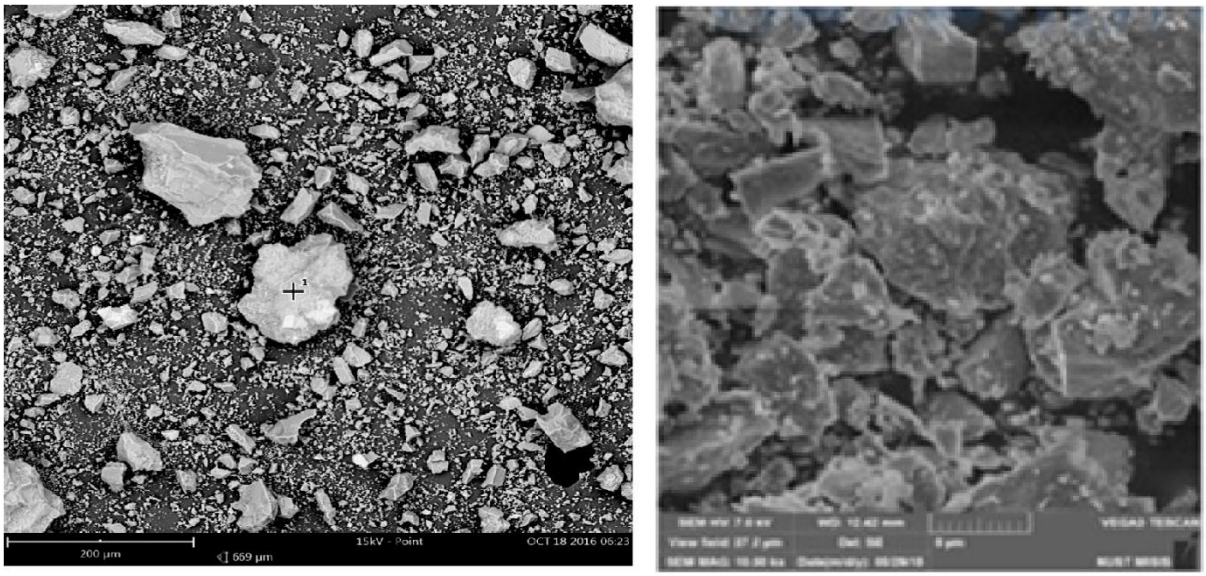


Рис. 1 - Форма частиц измельченного базальта (размер частиц ≤140 мкм)

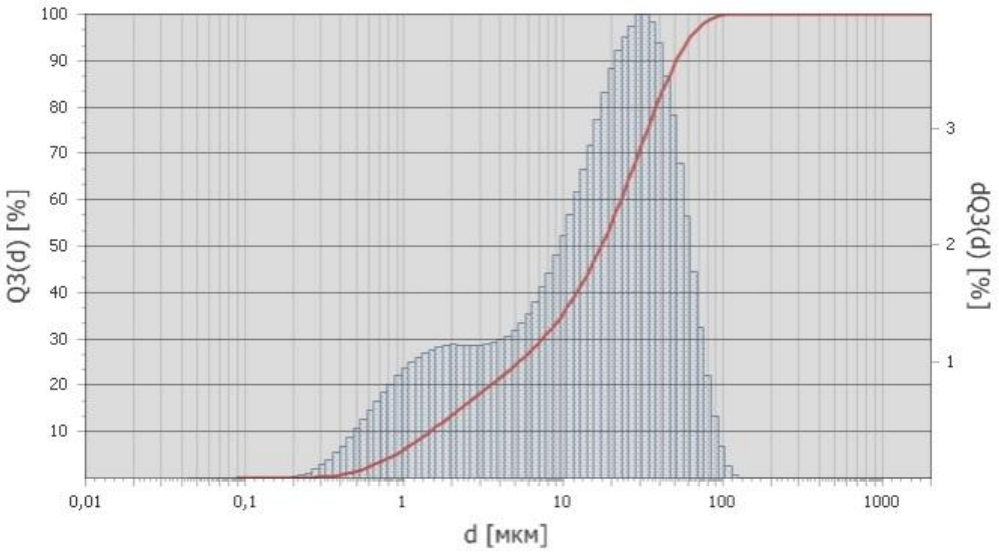


Рис. 2 - Гранулометрический состав измельченного базальта

Доказана возможность создания высоконаполненных полимерных материалов, т.к. введение в композицию 50 масс.ч базальта обеспечивает повышение физико-химических и механических свойств эпоксибазальтопластиков (табл. 1) – твердость по Бринеллю, устойчивость к статическому и динамическому изгибу (удару) возрастает более чем вдвое, а теплостойкость также повышается со 114 до 206 °С.

Таблица 1

Влияние базальта на физико-механические свойства эпоксидной композиции состава: 70масс.ч. ЭД-20 + 15 масс.ч. ПЭПА + 30 масс.ч ТХЭФ

Количество базальта, масс.ч.	Ударная вязкость, кДж/м^2	Твердость по Бринеллю, МПа	Разрушающее напряжение при изгибе, МПа	Водопогло-щение, %	Тепло-стойкость по Вика, °С
-	34	130	45	0,20	114
1	39	134	50	0,17	124
30	56	185	77	0,10	180
50	82	253	122	0,07	206

При изучении термостабильности образцов термогравиметрическим анализом отмечено: увеличение коксовых остатков, снижение скоростей пиролиза, существенное уменьшение (более чем в 2 раза) потерь массы вплоть до 600^{0}С/г.

Выявленное влияние дисперсного базальта на пиролиз эпоксидной смолы проявляется и в поведении материала при горении на воздухе. Образцы, содержащие 30 и 50 мас.ч. базальта не поддерживают горения на воздухе и потери массы составляют 1,4 и 0,7% соответственно, кислородный индекс возрастает до 37об.%. С увеличением степени наполнения

эпоксидной композиции возрастают кислородный индекс и выход карбонизованного остатка.

Таким образом, в работе доказана эффективность и целесообразность использования для наполнения эпоксидной смолы измельченного базальта, не перерабатывая его в волокна. Установлено повышение физико-химических и механических свойств композиций, наполненных базальтом, что позволяет расширить области применения базальта для создания полимерных материалов широкого спектра использования. Выявлено влияние базальта на показатели горючести композитов на основе эпоксидной смолы: повышается кислородный индекс, снижается время самостоятельного горения, уменьшаются потери массы при поджигании на воздухе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kalganova S.G.* Mathematical model of solidification kinetics of epoxy compound / S.G. Kalganova, V.S. Alekseev, E.Y. Vasinkina, Y.A. Kadykova, S.V. Arzamastsev, V.V. Kovalenko // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 194(3), 032007.
2. *Mostovoy A.S.* Effect of Finely Dispersed Chromite on the Physicochemical and Mechanical Properties of Modified Epoxy Composites / A.S. Mostovoy, A.S. Nurtazina, I.N. Burmistrov, Y.A. Kadykova // Russian Journal of Applied Chemistry, Vol. 91(11), C. 1758-1766.
3. *Ulegin S.V.* Basalt-filled epoxy composite materials / S.V. Ulegin, Y.A. Kadykova, S.E. Artemenko, S.A. Demidova // International Polymer Science and Technology, 2014, Vol. 41(5), C. 57-60.
4. *Mostovoy A.S.* Epoxy composites modified with microfibers of potassium polytitanates / A.S. Mostovoy, Y.A. Kadykova, A.Z. Bekeshev, L.K. Tastanova // Journal of Applied Polymer Science, 2018, Vol. 135(35), 46651.

УДК 62-232.1, 621.9.01

ТЕХНОЛОГИЯ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ «ШАТУН» ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Ватаманюк Станислав Андреевич,
группа ТАММ-17,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. Рассмотрен типовой технологический процесс изготовления детали «Шатун» дизельного двигателя внутреннего сгорания. Предложено применение лазерной обработки плоскости разъема с последующим раскалыванием на составные части. Обоснована возможность сокращения количества операций механической обработки, повышения качества поверхностей разъема шатуна, что приводит к уменьшению износа и повышению ресурса изделия.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания; шатун; лазерная обработка; лазерная гравировка

TECHNOLOGY OF THE LASER GROOVING DETAIL “CONNECTION ROD” OF THE ENGINE OF INTERNAL COMBUSTION

Vatamaniuk Stanislav Andreevich,
group TAMM-17,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. Typical technological process of manufacturing of a part "Connection rod" of the diesel engine of internal combustion is considered. The application of laser treatment of the connector plane with the subsequent repeling of the components is proposed. The possibility of reducing the number of machining operations, improving the quality of the connecting rod connector surfaces, which leads to a decrease in wear and increase in the product life, is substantiated.

Keywords: internal combustion engine; connecting rod; laser processing; laser engraving

Деталь «Шатун» является ответственной деталью двигателя внутреннего сгорания, которая должна выполнять две основные задачи: соединить поршень с коленчатым валом и преобразовать прямое движение поршня в поворотное для коленчатого вала. Повышение качества и долговечности деталей тесно связано с совершенствованием технологии их

изготовления [1…9]. Перспективным представляется применение лазерной обработки [10…12].

Стержень шатуна состоит из верхней головки и соединительного стержня; крышка, соединяясь со стержнем с помощью болтов, образует нижнюю головку (рис. 1). Изготавливаются шатуны чаще всего из стали 40Х.

Рис. 1 – Строение детали «Шатун»

Типовая технология заключается в том, что заготовка изготавливается либо методом литья, либо ковкой на горизонтально-ковочной машине. Далее производится зацентровка головок; разметка и сверление центровых отверстий в верхней и нижней головки шатуна; черновое подрезание торцов верхней и нижней головок; чистовая обточка шатуна; отрезается крышка нижней головки; подрезается плоскость разъема шатуна с крышкой; фрезеруются площадки под болты, сверлятся отверстия под болты в стержне. И в последней операции крышка с шатуном собираются с помощью болтов, и производится чистовая расточка отверстий в головках и шлифование поверхностей.

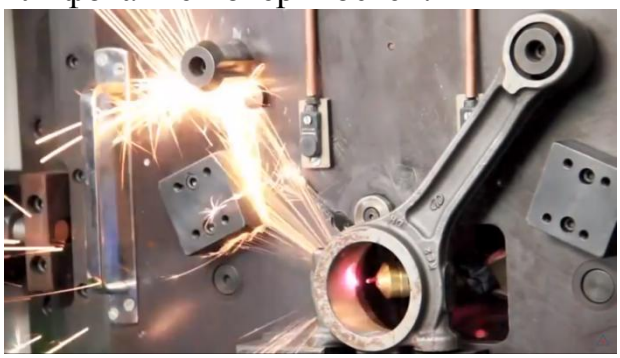


Рис. 2 – Лазерная обработка детали «Шатун»

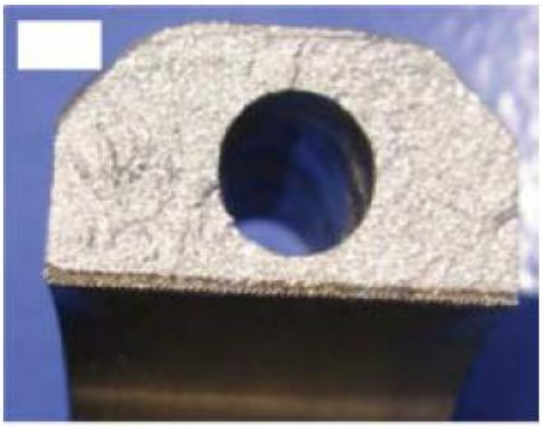


Рис. 3 – Поверхность крышки шатуна, получаемая технологией излома

Новая технология предусматривает проведение ряда операций по обработке шатуна (фрезерование торцевых поверхностей, сверление отверстий в головках, фрезерование площадок под болты, сверление отверстий под болты и нарезаний в них резьбы) на пятикоординатном фрезерном обрабатывающем центре с ЧПУ с помощью специального приспособления с двойным пневматическим зажимом. Еще одной особенностей технологии заключается в том, что после всей механической обработки заготовка шатуна устанавливается на лазерный станок и происходит создание двух небольших канавок на поверхности отверстий нижней головки (рис. 2).

Лазерная обработка позволяет создать на поверхности нижней головки шатуна канавки, которые являются концентраторами напряжения,

благодаря которым возможен излом шатуна, то есть разделение на стержень и крышку (рис. 3).

В данном процессе используется Nd:YAG лазер – твердотельный лазер; в качестве активной среды используется алюмо-иттриевый гранат («YAG», Y3Al5O12), легированный ионами неодима (Nd) [13…16].

Вокруг лазерной канавки можно обозначить четыре зоны: разрывная трещина, зона повторного затвердевания, зона фазового перехода в твердое состояние, зона без воздействий. При этом микротвердость в поверхностом слое будет гораздо выше, чем в основном металле (рис. 4).

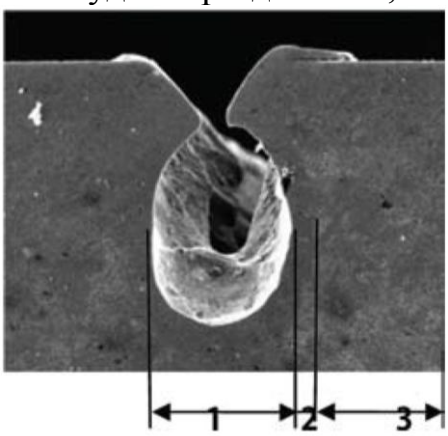


Рис. 4 – Сечение шатуна перпендикулярное плоскости лазерной обработки:
1 – канавка, образованная прожигом лазера, 2 – слой с повышенной твердость вокруг канавки, 3 – основной металл

По сравнению с протяжной и проволочной резкой лазерная обработка является более гибкой и универсальной. Используя различные параметры лазера можно подобрать необходимую глубину резания, и необходимые процессы, которые произойдут в поверхностном слое.

По сравнению с методом прошивки канавки, при лазерной гравировке происходит упрочнение местного слоя металла возле канавки, что позволяет создать более ровный излом поверхности, прилагая при этом меньшее усилие. Удара самой простой киянкой с усилием до 150 Н в направлении параллельном оси отверстия нижней головки, достаточно, чтобы отколоть крышку шатуна.

Благодаря новой технологии улучшается качество изготовления детали, повышается производительность на счет снижения времени на обработку. Переход на новую технологию при одинаковом годовом выпуске позволяет сократить оборудование, кол-во персонала, трудоемкость, себестоимость, благодаря чему можно получить экономическую выгоду.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бевза В.Ф.* Совершенствование структуры и свойств заготовок деталей горного и нефтеперерабатывающего машиностроения из чугуна «нирезист» / В.Ф. Бевза, В.П. Груша, В.А. Красный // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2018, Т. 2, С. 156-167.

2. *Ольт Ю.* Обеспечение адгезионной прочности газотермических покрытий поршневых колец двигателей карьерного транспорта / Ю. Ольт, В.В. Максаров, В.А. Красный // Записки Горного института, 2018, Т. 229, С. 77-83.

3. *Maksarov V.V.* Simulation of dynamic processes when machining transition surfaces of stepped shafts / V.V. Maksarov, V.A. Krasnyy, R.V. Viushin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 022047.
4. *Максаров В.В*. Моделирование динамических процессов механической обработки в среде NI LABVIEW для совершенствования технологии изготовления деталей горных машин / В.В. Максаров, А.Е. Ефимов, Д.А. Осминко // Металлообработка, 2018, Т. 1(103), С. 6-13.
5. *Максаров В.В*. Технологическое повышение качества сложнопрофильных поверхностей методом магнитно-абразивного полирования / В.В. Максаров, А.И. Кексин // Металлообработка, 2017, Т. 1(97), С. 47-57.
6. *Тимофеев Д.Ю.* Повышение точности изготовления прецизионных поверхностей детали шток гидроцилиндров / Д.Ю. Тимофеев, А.Е. Ефимов // Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, С. 142-145.
7. *Халимоненко А.Д.* Точность обработки при точении заготовок режущим инструментом, оснащенным сменными керамическими пластинами / А.Д. Халимоненко, Р.В. Вьюшин // Записки горного института, 2014, Т. 209, С. 99-103.
8. *Максаров В.В*. Динамическая стабилизация процесса резания на основе локальной метастабильности в управляемых робототехнических комплексах на станках с ЧПУ / В.В. Максаров, Ю. Ольт // Записки Горного института, 2017, Т. 226, С. 446-451.
9. *Maksarov V.V.* Technology of magnetic-abrasive finishing of geometrically-complex products / V.V. Maksarov, A.I. Keksin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 042068.
9. *Максаров В.В*. Обеспечение динамической стабилизации процесса резания труднообрабатываемых материалов на основе предварительной локальной метастабильности / В.В. Максаров, Ю. Ольт, А.Е. Ефимов // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева, 2017, Т. 1(40), С. 263-268.
9. *Максаров В.В*. Повышение точности и качества изготовления в технологическом процессе прецизионных поверхностей гидроцилиндров шахтных крепей на основе локального термического воздействия / В.В. Максаров, Д.Ю. Тимофеев, А.Е. Ефимов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2016, Т. 9, С. 65-73.
10. *Efimov A.E.* Modeling dynamic processes at stage of formation of parts previously subjected to high-energy laser effects / A.E. Efimov, V.V. Maksarov, D.Y. Timofeev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 022026.
11. *Игнатов А.Г.* Лазерные технологии: Задачи и решения / РИТМ Машиностроение, 2018, Т. 6, С. 3-8.
12. *Алисин В.В.* Влияние лазерной обработки на структуру поверхностных слоев конструкционных сталей и их износостойкость / В.В. Алисин, В.Г.Лаптева, Л.И.Куксенова // Проблемы машиностроения и надежности машин, 2009, Т. 2, С. 28-36.

13. Лазерная установка Trumpf TruLaser Cell 3000.
http://3d.globatek.ru/production/trulaser_3000
14. Nd:YAG-лазер.
https://ru.wikipedia.org/wiki/Nd:YAG%D0%BB%D0%B0%D0%B7%D0%B5%D1%80
15. Технология производства шатунов.
http://studopedia.ru/3_175657_tehnologiya-proizvodstva-shatunov.html.
16. *Максаров В.В.* Влияние структурных параметров режущей керамики на работоспособность инструмента при обработке прецизионных поверхностей деталей горных машин / В.В. Максаров, А.Д. Халимоненко // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2017, Т. 8 (1), С 56-64.

УДК 622.331

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ДОБЫЧИ ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ НА ЕСТЕСТВЕННЫХ ТОРФЯНЫХ ЗАЛЕЖАХ

Вихляев Дмитрий Викторович,
группа ТТМ-18,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. Определены подходы к разработке торфяных месторождений на основе технологий климатически-нейтральной хозяйственной деятельности. Представлен обзор способов добычи торфяного сырья на неосушенных, естественных торфяных залежах и технических средств их осуществления. Показано, что необходимость создания комплексов машин и оборудования для реализации технологий добычи без осушения территорий обусловлены переходом к новым экономическим и экологическим реалиям

Ключевые слова: способ добычи торфа; оборудование для добычи торфа; естественная торфяная залежь

ANALYSIS OF THE METHODS OF MINING AT NATURAL DEPOSITS OF PEAT

Vichlyaev Dmitry Victorovich,
group TTM-18,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. Defined approaches to the development of peat deposits based on climate-neutral business. Provides an overview of the ways of peat extraction of raw material at natural deposits of peat and technical means to implement them. It is shown that the need to create complexes of machines and equipment for the implementation of production technologies without draining the territories due to the transition to new economic and environmental realities

Keywords: method of extraction of peat; peat extraction equipment; natural peat deposit

В настоящее время торфяные ресурсы являются недооценёнными в рамках горной промышленности Российской Федерации. Вместе с тем, обширные торфяные месторождения в европейской части России во многом отработаны в отличие от месторождений Западной Сибири и Северо-Западных районов страны. В естественном виде торф имеет большое влагосодержание от 88% до 96%. Кроме того вызовы сегодняшнего дня все

острее ставят вопрос о разработки новых, инновационных технологий добычи и переработки торфяного сырья и, вместе с тем, о создании соответствующего горного оборудования для их реализации. Такая технология должна быть минимально погодозависимой, позволяющей перейти на круглогодичную добычу торфа. Наиболее распространенный, фрезерный способ добычи, в современных условиях экономики становится все менее рентабельным, так как эта технология требует значительных площадей для добычи, сушки и складирования, имеет высокий уровень пожароопасности, природоохранных и экономических рисков. Кроме того, необходимость проведения подготовительных работ по подготовке месторождения, создания разветвленных сети картовых каналов – требует дополнительных вложений и сказывается на себестоимости товарной продукции. Высокая дифференциация технологических операций предполагает большой парк узкоспециализированной техники для добычи и переработки торфа, поддержания ее в работоспособном состоянии путем проведения ремонтных и регламентных работ [7, 8, 11]. Анализируя способы добычи торфа, следует отметить, что в современных условиях рыночной экономики наиболее предпочтительным представляется экскаваторный способ добычи торфяного сырья, который не требует использования больших площадей и, следовательно, значительных затрат на покрытие арендной платы за использование месторождения.

Однако при всех преимуществах этого способа он требует подготовки месторождения и водопонижения, что резко увеличивает эффект негативного антропогенного воздействия на окружающую среду, требуются значительное вложение сил и средств на рекультивацию отработанных месторождений.

Не смотря на исследования и разработки в области снижения антропогенного воздействия на окружающую среду при разработке торфяных месторождений не получили глубокого и всестороннего рассмотрения вопросы связанные с разработкой всесезонных технологий добычи торфяного сырья в рамках климотосберегающих технологий и, как следствие, отсутствует горное оборудование для реализации таких технологий, для всесезонной добычи торфяного сырья в рамках климатически-нейтральной хозяйственной деятельности технологии разработки торфяных месторождений без предварительного водопонижения территорий и подготовки месторождения к выемке [5, 6, 9, 10].

Для создания таких технологий и обоснованного выбора соответствующего оборудования, проанализируем достижения в этой области.

Способ круглогодичной добычи предполагает проведение работ по добыче, и переработке в специальном передвижном ангаре установленным непосредственно над драгой и перемещающейся вместе с ней (патент РФ 2614337). Похожее решение реализовано в добычном комплексе [2, 3, 4].

Задачи ведения к минимуму отрицательных экологических последствий при добыче торфа и при использовании выработанных площадей торфяных месторождений, сокращения затрат на добычу торфа и

освоение выработанных площадей, обеспечения возможности добычи кускового торфа на залежах с высокой пнистостью может быть решены применением патента Белоруссии 12515. Указанный способ реализуется после предварительного осушение залежи, дополнительно осуществляют эксплуатационное осушение и сводку древесно-кустарниковой растительности, после чего перерабатывают торф вместе с древесными включениями непосредственно в карьере под породообразующим слоем в соответствии с технологической картой добычи торфа, затем переработанную торфяную массу послойно извлекают из-под породообразующего слоя, который опускают на дно карьера, а торфяную массу транспортируют на формовку.

Комплекс для добычи торфа по патенту РФ 2304721 на неосушенных, естественных торфяных залежах позволяет добиться сокращения сроков ввода площадей в эксплуатацию, удлинение сезона добычи торфа и перехода на круглогодичное производство. Комплекс включает смонтированный на платформе подъемник с лебедкой для подъема и заглубления рабочего органа нагнетательный и водозаборный насосы. Весь комплекс оборудования смонтирован на платформе в виде понтона. Весь комплекс придвигается тягачом. Близкие решения, но плавучих комплексов, рассмотрены в работах [1].

Как показывает краткий анализ способов и конструкций для работы на неосушенных, естественных торфяных залежах лежит в применении понтонных средств для размещения универсального добычного оборудования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2599117 Российская Федерация, МКП E21 C 49/00. Способ разработки торфяных месторождений / С.Л. Иванов [и др.], заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский горный университет. - № 2015108533/03, заявл. 11.03.2015, опубл. 10.10.2016 Бюл. № 28, 8 с.
2. Пат. 2655235 Российская Федерация, МКП B63 B 35/44. Плавучая платформа / Д.В. Фадеев [и др.], заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский горный университет. - № 2017116467, заявл. 11.05.2017, опубл. 24.05.2018 Бюл. № 15, 8 с.
3. Пат. 2672366 Российская Федерация, МКП E04 H 6/02. Трансформируемое сооружение / И.Н. Худякова [и др.], заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский горный университет. - № 2018104765, заявл. 07.02.2018, опубл. 14.11.2018 Бюл. № 32, 7 с.
4. Пат. 2637346 Российская Федерация, МКП E21 C 49/00. Способ разработки торфяных месторождений / В.В. Габов [и др.], заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский горный университет. - № 2016142258, заявл. 26.10.2016, опубл. 04.12.2017 Бюл. № 34, 16 с.
5. *Худякова И.Н.* Формирование структуры комплекса добычи и переработки торфяного сырья для месторождений естественной обводненности /

И.Н. Худякова, Э.А. Вагапова, С.Л. Иванов // Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация: Материалы международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург. СПбФ НИЦ МС, 2018, Т. 1, С. 146-148.
6. *Худякова И.Н.* Формирование структуры основного технологического оборудования автономного комплекса для добычи торфа из неосушенного месторождения / И.Н. Худякова [и др.] // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ», 2017, Т. 9(3).
7. *Ivanov S.L.* Integral criterion of mining machines technical condition level at their operation / S.L. Ivanov, P.V. Shishkin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 87, 022009.
8. *Ivanov S.L.* Manufacturing and design technology of Combined corrected gearing and nonstandard Radial clearance / S.L. Ivanov, P.V. Shishkin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 194, 022013.
9. *Kokonkov A.A.* Autonomous complex module for peat development on watered deposits / A.A. Kokonkov, D.D. Liakh, S.L. Ivanov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 194, 032011.
10. *Khudyakova I.N.* Raw peat production and processing from flooded fields and approaches to maintain dehydration / I.N. Khudyakova, E. A. Vagapova, S.L. Ivanov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 194, 032010.
11. *Zvonarev I.E.* Evaluation of losses in transmission of machinery for development of mineral deposits in conditions of variable load / I.E. Zvonarev, S.L. Ivanov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 87, 022024.

УДК 622.684

МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕХАНИЗМА РАЗГРУЗКИ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ

Вишняков Георгий Юрьевич,
Чайковский Никита Александрович,
группа ГТС-14,
Санкт-Петербургский горный университет

Аннотация. Рассмотрены варианты совершенствования процесса разгрузки карьерного автосамосвала для снижения динамических нагрузок, возникающих в системе опрокидывающего механизма, на примере самосвала компании БелАЗ.

Ключевые слова: модернизация; снижение нагрузок; автосамосвал; опрокидывающий механизм

MODERNIZATION OF THE DUMP TRUCK UNLOADING MECHANISM

Vishniakov Georgiy Urievich,
Chaikovsky Nikita Alexandrovich,
group GTS-14,
Saint-Petersburg Mining University

Abstract. The options for improving the process of unloading a dump truck to reduce the dynamic loads that occur in the tipping mechanism, for example, BelAZ dump truck were considered.

Keywords: modernization; load dropping; dump truck; tipping mechanism

Актуальность. Автосамосвалы являются одним из самых распространенных видов транспорта, используемых на карьерах. Условия эксплуатации усложняются с каждым годом, что приводит к возникновению снижения производительности автотранспорта и повышения транспортных расходов. Доля транспорта в себестоимости горной массы глубоких карьеров достигает 55-70% [4]. Совершенствование отдельных механизмов машин становится необходимостью для уменьшения затрат на эксплуатацию.

Введение. В процессе разгрузки карьерных автосамосвалов: при достижении определенного угла подъема платформы, происходит массовое смещение груза без ссыпания, в заднюю часть кузова [3]. Центр тяжести (ЦТ) груза оказывается за осью опрокидывания, что приводит к самопроизвольному подъему (запрокидыванию) платформы (эффект качелей).

Данный эффект приводит к возникновению ударных нагрузок в системе опрокидывающего механизма, что способствует преждевременному выходу из строя телескопических цилиндров подъема платформы и несущих элементов кузова [2].

Модернизация гидросистемы. В процессе разгрузки, телескопические цилиндры подъема платформы испытывают на себе сжимающее усилие за счет веса груза и самой платформы, преодолеваемое давлением жидкости, которая подается в поршневую полость [1]. При смещении ЦТ груза за ось опрокидывания гидроцилиндры начинают принудительно вытягиваться, т.е. выдвижение цилиндра происходит не только за счет поступающей рабочей жидкости, но и под действием гравитационных сил, что может привести, в том числе, к разрыву сплошности жидкости, а также кавитационным явлениям в гидросистеме.

Установка пропорционального дросселирующего клапана (рис. 1-2) позволит снизить негативные воздействия на гидросистему [6] в целом.

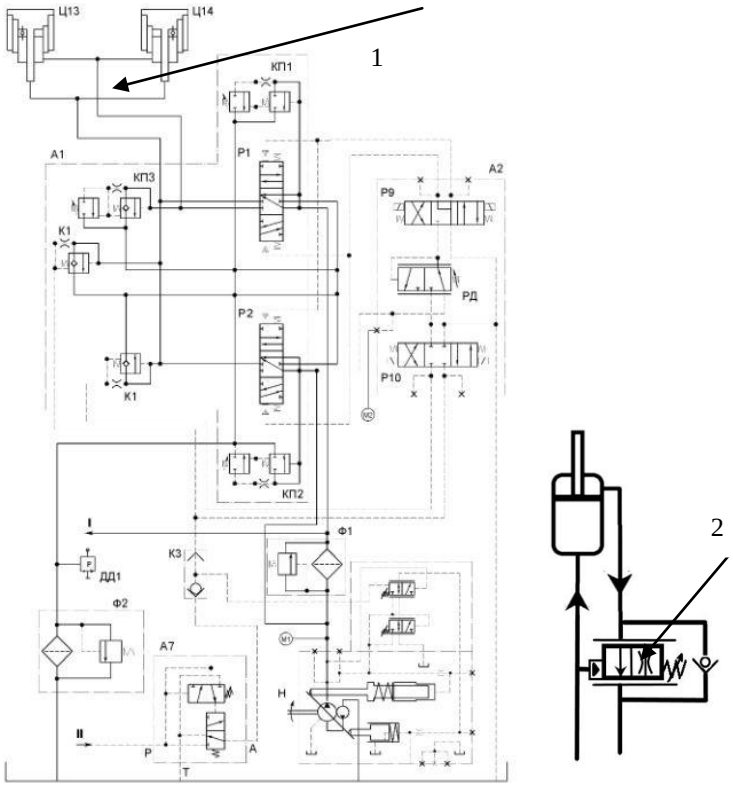


Рис. 1 - Гидросистема подъемного механизма:
1 – место установки дросселирующего клапана,
2 – дросселирующий клапан

Его применение позволит контролировать скорость подъема грузовой платформы. При достижении определенного угла (при котором центр тяжести груза переходит за ось опрокидывания) на пропорциональный клапан подается сигнал на дросселирование штоковой полости, расход жидкости уменьшается и скорость подъема, соответственно тоже.

При этом платформа будет продолжать разгружаться за счет скатывания груза по наклонной плоскости. Таким образом, снижаются ударные нагрузки на гидроцилиндр.

Степень открытия дросселя (клапана) может определяться углом подъема платформы, а положение платформы фиксируется датчиком положения кузова. Таким образом, имея обратную связь между датчиком положения и дросселем (клапаном) можно автоматизировать процесс разгрузки платформы автосамосвала с необходимой скоростью.

Откидывающийся элемент платформы. Во время разгрузки автосамосвала горная масса, перемещаясь, вызывает нежелательный эффект «качелей» [5]. Применение откидывающегося разгрузочного борта (рис. 2) позволит снизить нагрузку на заднюю часть платформы. При достижении кузовом определенного угла подъема, часть породы уже будет высыпана, что снизит давление горной массы на край платформы.

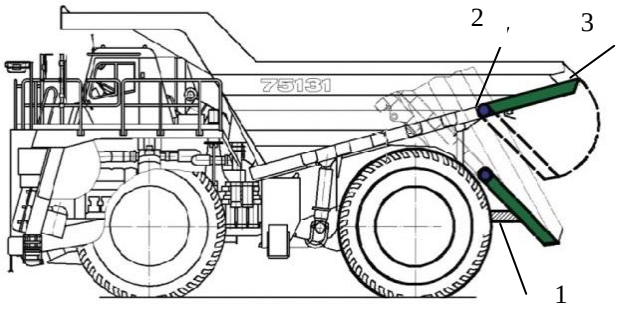


Рис. 2 - Принцип работы откидывающегося дна платформы:
1 – защелкивающий упор; 2 – шарнирный механизм; 3 – откидывающийся элемент

Длина ссыпания груза по кузову сократиться, что исключит возникновение ударных нагрузок на телескопические цилиндры.

Благодаря откидывающемуся дну горная масса начинает сгружаться при минимальном угле поднятия кузова, что способствует более равномерной разгрузке и плавного распределения нагрузки на гидроцилиндр.

Соединяться подвижный элемент будет с помощью шарнира, который, благодаря простоте конструкции, может быть легко заменен. Защелки дна, установленные в стенках платформы и удерживающие элемент в закрытом положении, должны откидывать борт сразу при поднятии кузова, т.к. они будут связаны с датчиком уровня платформы. Возвращать кузов в первоначальное положение будет жестко закрепленный на раме упор (рис. 2-1).

Заключение. Таким образом, модернизация механизма разгрузки карьерного автосамосвала для снижения динамических нагрузок, возникающих в системе опрокидывающего механизма, может складываться из одного из предложенных решений. Однако, это не позволит в полной мере убрать эффект «качелей». Для достижения максимального результата необходимо совместное применение предложенных решений.

Подвижный элемент кузова и внедрение дросселирующего клапана позволят снизить описанный выше эффект, следовательно, уменьшится износ гидроцилиндров и снизятся затраты на ремонт оборудования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бартош П.Р.* Динамический расчет гидропривода опрокидывающего механизма платформы самосвала / П.Р. Бартош, И.Г. Селивончик, А.И. Сафонов, П.Н. Кишкевич // Автомобильный транспорт, 2011, Т. 29, С. 135-139.

2. *Воронов Ю.Е.* Обоснование и определение показателей технического уровня карьерных автосамосвалов / Ю.Е. Воронов, С.В. Басманов // Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2006, С. 53-60.

3. *Егоров А.Н.* Система разработки, испытаний и постановки на производство новой продукции ПО «БелАЗ» / Горный информационно-аналитический

бюллетень, 2008, С. 71-78.
4. *Глебов А.В.* Определение предельных сроков эксплуатации карьерных самосвалов / А.В. Глебов, Г.Д. Кармаев // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2015, С. 50-62.
5. *Кулешов А.А.* Проектирование и эксплуатация карьерного автотранспорта. Справочник: Часть 1. – СПб.: Санкт-Петербургский горный университет, 1995.
6. Карьерные самосвалы серии БелАЗ-7513 и их модификации. Руководство по эксплуатации. – Жодино: ОАО «БелАЗ», 2015. – 242 с.

УДК 621.757; 621.792.4

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОСНАЩЕНИЕ ОПЕРАЦИИ СБОРКИ ДЕТАЛИ «КОЛОДКА» МЕХАНИЗМА ТОРМОЗА НЕСУЩЕГО ВИНТА ВЕРТОЛЁТА

Власов Алексей Андреевич,
группа ТОА–15
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. Рассмотрена конструкция тормоза несущего винта вертолета, используемого для мониторинга за объектами нефтяной, газовой и горнодобывающей промышленности. Отмечена важная функция тормозной колодки из алюминиевого сплава с фрикционным материалом феродо для обеспечения надежной работы. Предложена конструкция приспособления для сборки колодки, позволяющая повысить качество и производительность сборочной операции.

Ключевые слова: технологическое оснащение; сборочная операция; тормозная колодка; феродо

TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FOR THE ASSEMBLY OPERATION BRAKE SHOE PARTS OF THE HELICOPTER'S MAIN ROTOR

Vlasov Aleksey Andreevich
group TOA-15,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. The design of the helicopter bearing rotor brake used for monitoring of oil, gas and mining industry objects is considered. An important function of the brake pad made of aluminum alloy with friction material pherodo is marked to ensure reliable operation. The design of the device for assembling the block, which allows to increase the quality and productivity of the assembling operation, is offered.

Keywords: technological equipment; assembly operation; brake pad; pherodo

Основу экономики Российской Федерации составляет нефтяная, газовая, а также горнодобывающие отрасли. Большинство предприятий этой области расположены в труднодоступных районах страны. На сегодняшний день самым распространенным способом контроля за удалёнными элементами нефтяной, газовой и горнодобывающей промышленности

является мониторинг, осуществляемый с использованием вертолётов. С помощью вертолётов можно осуществлять не только контроль различных объектов, но также возможна своевременная доставка ремонтных бригад и грузов на место поломок рабочих систем.

Одним из важнейших механизмов вертолёта является тормоз несущего винта (ТНВ) (рис. 1). Машина не может быть допущена к вылету без проверки на исправность ТНВ. Сам механизм располагается на быстроходном валу трансмиссии и отвечает за остановку винта, а также фиксации его во время стоянки или транспортировки вертолёта, что предотвращает удары лопастей об фюзеляж.

Повышение качества ответственных деталей тормозной системы основано на использовании современных материалов [1-7], а также совершенствовании технологических процессов их изготовления [8-13]. В то же время в тормозных устройствах именно сборочная операция и ее оснащение зачастую является определяющей с точки зрения безопасности эксплуатации [14-17].

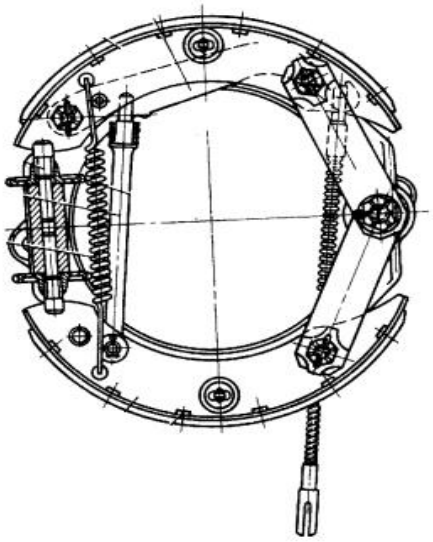


Рис. 1 – Колодчатый тормоз несущего винта

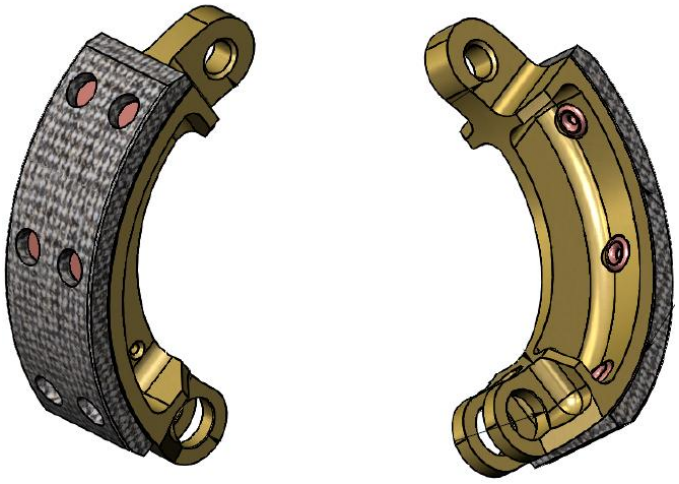


Рис. 2 – Колодка в сборе с фрикционной накладкой

Тормозная колодка вертолёта является ответственной деталью механизма ТНВ и подвергается сложной механической обработке. Не менее важной операцией является сборка колодки и фрикционной накладки, состоящей из феродо (рис. 2). Эта операция определяет дальнейшее качество и работоспособность детали. Тормозные колодки вертолётов изготавливают из алюминиевого деформируемого сплава АК-6.

Этот сплав обладает хорошей пластичностью и стойкостью к образованию трещин при горячей деформации. А в качестве материала для фрикционных накладок используется феродо. Феродо – это высокоэффективный фрикционный безасбестовый материал, который обладает высокой теплостойкостью до 300 °С.

Для реализации операции сборки нами было разработано

специальное приспособление для склеивания колодки с фрикционной накладкой (рис. 3).

Это операция включает в себя последовательность действий:

- Отрезать феродо в длину в развёртки;
- Отрезать полосы противокоррозионной ингибированной бумаги и установить в приспособление на дно и на неподвижную стенку для воспрепятствования склеивания с приспособлением;
- Нанести равномерный слой клея на корпус колодки и на накладку феродо;
- Соединить склеиваемые заготовки, не допустив перекоса;
- Установить заготовки с накладкой в приспособление;
- Задать требуемое усилие динамометрическим ключом в приспособлении;
- Вытереть смоченным в нефрасе тампоном вышедший излишек клея;
- В сжатом состоянии выдержать не менее 1 часа при температуре +18°С…+25°С.

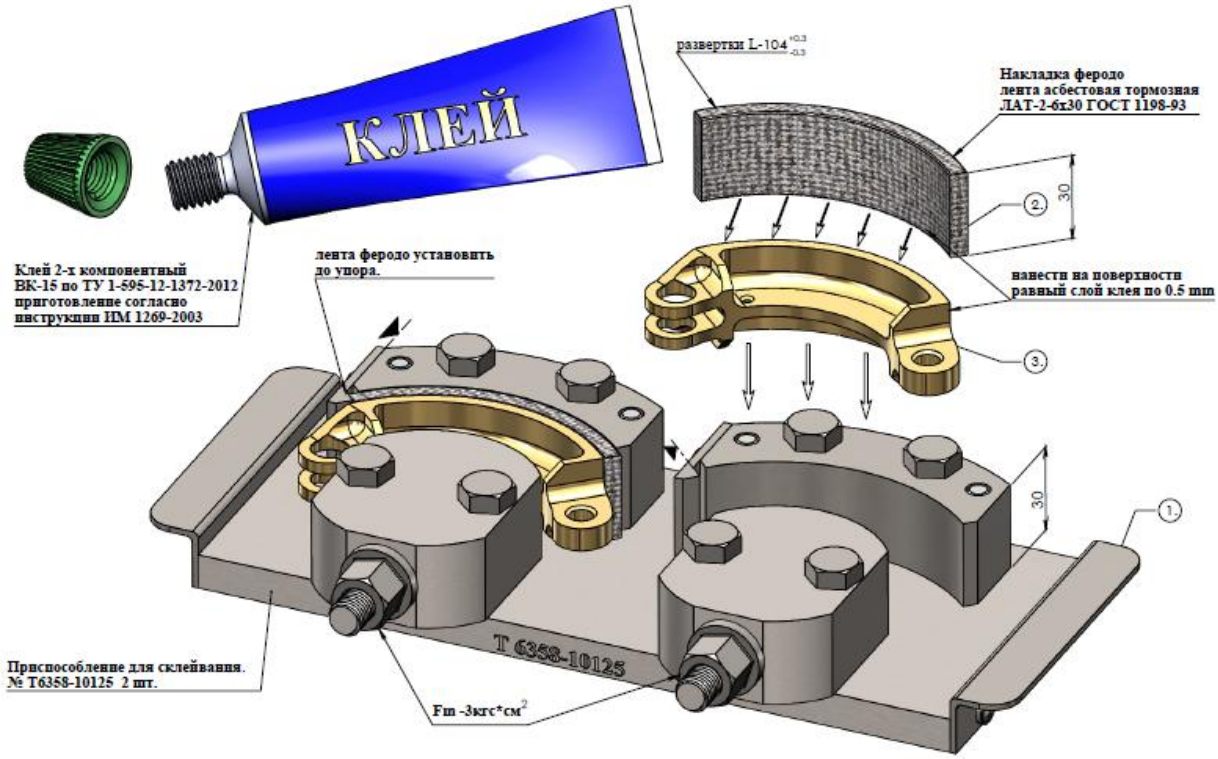


Рис. 3 – Приспособление для склеивания

Благодаря применению прижимного приспособления в данной операции мы можем получить качественные детали, которые не будут разрушаться под высокими нагрузками вала несущего винта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Марукович Е.И.* Повышение качества деталей из чугунов путем

совершенствования процесса структурообразования / Е.И. Марукович, В.Ф. Бевза, В.П. Груша, В.А. Красный // Двигателестроение, 2015, Т. 1(259), С. 35-40.
2. *Марукович Е.И.* Повышение эксплуатационных свойств ответственных деталей горных машин из легированных чугунов / Е.И. Марукович, В.Ф. Бевза, В.П. Груша, В.А. Красный // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2016, Т. 10, С. 48-60.
3. *Бевза В.Ф.* Совершенствование структуры и свойств заготовок деталей горного и нефтеперерабатывающего машиностроения из чугуна «нирезист» / В.Ф. Бевза, В.П. Груша, В.А. Красный // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2018, Т. 2, С. 156-167.
4. *Красный В.А.* Повышение качества заготовок деталей горного и нефтеперерабатывающего машиностроения из чугуна «нирезист» методом направленного затвердевания металла / В.А. Красный, В.П. Бевза, В.П. Груша // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME-2017. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, 2017, Т. 1, С. 260-263.
5. *Ольт Ю.* Обеспечение адгезионной прочности газотермических покрытий поршневых колец двигателей карьерного транспорта / Ю. Ольт, В.В. Максаров, В.А. Красный // Записки Горного института, 2018, Т. 229, С. 77-83.
6. *Krasnyy V.* Improving fretting resistance of heavily loaded friction machine parts using a modified polymer composition / V. Krasnyy, V. Maksarov, J. Olt //Agronomy Research, 2016, Vol. 14(1), С. 1023-1033.
7. *Красный В.А.* Применение полимерных композитных материалов в узлах трения скважинных нефтяных насосов / В.А. Красный, В.В. Максаров, Ю. Ольт // Записки Горного института, 2015, Т. 211, С. 71-79.
8. *Халимоненко А.Д.* Точность обработки при точении заготовок режущим инструментом, оснащенным сменными керамическими пластинами / А.Д. Халимоненко, Р.В. Вьюшин // Записки горного института, 2014, Т. 209, С. 99-103.
9. *Тимофеев Д.Ю.* Повышение точности изготовления прецизионных поверхностей детали шток гидроцилиндров / Д.Ю. Тимофеев, А.Е. Ефимов // Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, С. 142-145.
10. *Maksarov V.V.* Simulation of dynamic processes when machining transition surfaces of stepped shafts / V.V. Maksarov, V.A. Krasnyy, R.V. Viushin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 022047.
11. *Максаров В.В.* Моделирование динамических процессов механической обработки в среде NI LABVIEW для совершенствования технологии изготовления деталей горных машин / В.В. Максаров, А.Е. Ефимов, Д.А. Осминко // Металлообработка, 2018, Т. 1(103), С. 6-13.
13. *Максаров В.В.* Технологическое повышение качества сложнопрофильных

поверхностей методом магнитно-абразивного полирования / В.В. Максаров, А.И. Кексин // Металлообработка, 2017, Т. 1(97), С. 47-57.
14. *Набатников Ю.Ф.* Селективная сборка деталей машин в горном машиностроении / Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2014, Т. 6, С. 159-164.
15. *Ласуков А.А.* Автоматизация сборки в машиностроении. - Томск: ТПУ, 2010. - 176 с.
16. *Максаров В.В.* Влияние структурных параметров режущей керамики на работоспособность инструмента при обработке прецизионных поверхностей деталей горных машин / В.В. Максаров, А.Д. Халимоненко // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2017, Т. 8 (1), С 56-64.
17. *Морозов И.М.* Основы технологии сборки в машиностроении // А.М. Морозов, В.Ю. Шамин // Челябинск: ЮУрГУ, 2006. - 72 с.

УДК 621.926.001.66

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Володина Яна Александровна,
Кузнецов Владислав Андреевич,
Таранина Ольга Александровна,
аспиранты,
Санкт-Петербургский горный университет, Электромеханический факультет

Аннотация. Производственный экологический контроль включает в себя мониторинг содержания в атмосферном воздухе маркерных веществ, характерных для конкретной отрасли промышленности. Определение уровней загрязняющих веществ на границе санитарно-защитной зоны предусматривает предварительный отбор проб с последующим анализом в специализированной лаборатории. В статье рассматриваются различные способы пробоотбора для группы летучих органических соединений (с помощью пробоотборных пакетов) и полиароматических углеводородов (посредством сорбционной трубки и фильтра для улавливания твердых частиц) в зависимости от их физико-химических свойств и особенностей распространения.

Ключевые слова: производственный экологический контроль; санитарно-защитная зона; выбросы; пробоотбор; летучие органические соединения; полиароматические углеводороды

DEVELOPMENT OF INDUSTRIAL ENVIRONMENTAL CONTROL METHODS

Volodina Yanf Alexandrovna,
Kuznetsov Vladislav Andreevich,
Taranina Olga Alexandrovna,
postgraduate students,
Saint-Petersburg Mining University,
Electromechanical Faculty

Abstract. The industrial environmental control includes monitoring of specific air contaminants typical for a particular industry. Determination of the pollutant levels at the border of the sanitary protection zone consists of the preliminary sampling and subsequent analysis in a specialized laboratory. The article discusses various methods of sampling for a group of volatile organic compounds (using sample bags) and polyaromatic hydrocarbons (using a sorption tube and a filter to trap

solid particles), depending on their physicochemical properties and the characteristics of distribution.

Keywords: industrial environmental monitoring; sanitary protection zone; emissions; sampling; volatile organic compounds; polyaromatic hydrocarbons

Предприятия горно-металлургического и нефтехимического комплекса являются источниками выделения в атмосферу широкого перечня загрязняющих веществ (ЗВ). При осуществлении производственного экологического контроля (ПЭК) необходимо учитывать особенности производственного процесса, оказывающего негативное воздействие на окружающую среду, и, в частности, на атмосферный воздух. ПЭК предусматривает проведение инструментальных замеров концентраций загрязняющих веществ как на границе санитарно-защитной зоны (СЗЗ), так и в промышленных выбросах. Контроль промышленных выбросов, как и контроль качества воздушной среды на границе санитарно-защитной зоны подразумевает периодический отбор проб в контрольных точках и их дальнейший анализ в специализированных лабораториях. Отдельный интерес вызывают такие группы веществ как легколетучие органические соединения и полиароматические углеводороды.

Перечень легколетучих органических соединений насчитывает более 150 соединений, относящихся к разным классам органических веществ. Некоторые из них помимо раздражающего действия обладают канцерогенной активностью как, например, бензол. Данные соединение характеризуются высоким давлением насыщенных паров, вследствие чего присутствуют в воздухе преимущественно в газообразном состоянии. Такие вещества как бензол, толуол, этилбензол, изомеры ксилолов являются маркерными для нефтеперерабатывающей промышленности, поступают в атмосферный воздух при добыче и обогащении угля. В связи с вышесказанным данные соединения включаются в программу ПЭК.

Другой класс соединений – полиароматические углеводороды (ПАУ) – насчитывает несколько сотен соединений. Большинство из них обладает канцерогенным и мутагенным действием. В отличие от ЛОС давление насыщенных паров данных веществ ниже, поэтому в окружающей среде и промышленных выбросах они могут находиться как в газообразном состоянии, так и в твердом. Данные соединения характерны для алюминиевой промышленности, коксовой, нефтехимической и включены в ПЭК.

Вследствие разных химико-физических свойств данные соединения требуют разных подходов к отбору проб. Так, при невозможности определении содержания ЛОС in situ, данные загрязняющие вещества предварительно отбирают с помощью различных устройств – сорбционных и индикаторных трубок, поглотительных сосудов (например, сосудов Рихтера, Зайцева, с пористой пластиной), охлаждаемых ловушек, шприцов, газовых пипеток и других. Поскольку широко используемые в настоящее время

пробоотборные устройства обладают рядом недостатков, существует необходимость внедрения новых способов и приспособлений для отбора проб с целью последующего определения концентраций ЗВ. Для оптимизации контроля качества воздушной среды на границе санитарно-защитной зоны авторами предлагается использование пробоотборных пакетов, позволяющих впоследствии определять концентрации как основных, так и маркерных ЗВ. Отличительной особенностью данных устройств является простота их использования, очистки, транспортировки, многократность применения, а также возможность осреднения пробы воздуха.

В отличие от ЛОС при контроле ПАУ недостаточно анализировать только газовую фракцию. Отбор проб должен предусматривать отбор твердой составляющей газовоздушной смеси. Поскольку процессы, протекающие в газовоздушной смеси как в атмосферном воздухе, так и в промышленных выбросах не стационарны, то отбор газовой составляющей и твердой должен проходить одновременно при одинаковых условиях. С этой целью используют фильтр и следующую за ним сорбционную трубку.

Интерес вызывает такое соединение как нафталин. Он относится как к ЛОС, так и входит в перечень приоритетных ПАУ. В промышленных выбросах преимущественно находится в газообразном состоянии. В атмосферном воздухе его содержание в газовой фракции колеблется в зависимости от температуры окружающей среды. Методы пробоотбора, разработанные для контроля ПАУ предусматривают улавливание данного вещества сорбционной трубкой. В то же время, согласно имеющимся аттестованным методикам измерения отбор пробы с целью измерения концентрации данного вещества проводится с использованием пробоотборного пакета.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ibrahim W.H.W.* Air quality assessment on human well-being in the vicinity of quarry site / W.H.W. Ibrahim, E. Marinie, J. Yunus, N. Asra and K. Mohd Sukor // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 117, 012010.
2. *Таранина О.А.* Методы контроля выбросов смолистых веществ (возгонов каменноугольного пека) в атмосферу в рамках производственного экологического контроля на алюминиевых заводах Российской Федерации / О.А. Таранина, В.С. Буркат // Экологические системы и приборы, 2017, Т. 6, С. 3-7
3. *Tomescu C.* Modern monitoring with preventive role for a production capacity / C. Tomescu, C. Lupu, A. Szollosi-Mota, F. Rădoi, E. Chiuzan // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2016, Vol. 44, 032007.
4. *Gasanov M.A.* The Concept of Ecologically Oriented Progress and Natural Resource Preservation / M.A. Gasanov1, K.A. Kolotov, K.A. Demidenko, E.A. Podgornaya, O.V. Kadnikova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 50, 012025.

5. *Ivantsova E.A.* Environmental Evaluation of the System of Protective Forest Plantations in Urban Landscapes Volgograd Agglomeration Using Gis-Technologies / E.A. Ivantsova, R.V. Ovsyankin, A.A. Matveeva, N.V. Onistratenko // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, Vol. 224, 012036.
6. *Volkodaeva M.V.* Measuring of industrial emission parameters / M.V. Volkodaeva, O.A. Taranina, V.A. Kuznecov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, Vol. 194, 062035.
7. *Reshnyak V.I.* System aspect course of creation of information and analytical system of environmental monitoring and control / V.I. Reshnyak, S.S. Sokolov, S.G. Chernyi, T.V. Storchak, Ya.N. Tihomirov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017, Vol. 87, 042017.
8. *Agienko M.I.* Eco-analytical Methodology in Environmental Problems Monitoring / M.I. Agienko, E.P. Bondareva, G.V. Chistyakova, O.V. Zhironkina, O.I. Kalinina // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 50, 012022.
9. *Hamid H.H.A.* Anthropogenic and biogenic volatile organic compounds and ozone formation potential in ambient air of Kuala Lumpur, Malaysia / H.H.A. Hamid, M.H.M. Hazman, M.S.M. Nadzir, R. Uning, M.T. Latif, N. Kannan // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, Vol. 228, 012001.
10. *Efremenkov A.B.* Coal Mining Machinery Development As An Ecological Factor Of Progressive Technologies Implementation / A.B. Efremenkov, A.A. Khoreshok, S.A. Zhironkin, A.V. Myaskov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 50, 012009.
11. *Samburova V.* Do 16 Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Represent PAH Air Toxicity? / V. Samburova, B. Zielinska, A. Khlystov // Toxics, 2017, Vol. 5(17).
12. *Abdel-Shafy H.I.* A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation / H.I. Abdel-Shafy, M.S.M. Mansour // Egyptian journal of petroleum, 2016, Vol. 25, C. 107-123.
13. *Hallquist M.* The formation, properties and impact of secondary organic aerosol: current and emerging issues / M. Hallquist1, J.C. Wenger, U.Baltensperger, Y. Rudich, D. Simpson, M. Claeys, J. Dommen, N.M. Donahue, C. George, A.H. Goldstein, J.F. Hamilton, H. Herrmann, T. Hoffmann, Y. Iinuma, M. Jang, M.E. Jenkin, J.L. Jimenez, A. Kiendler-Scharr, W. Maenhaut, G. McFiggans, Th.F. Mentel, A. Monod, A.S.H. Prévôt, J.H. Seinfeld, J.D. Surratt, R. Szmigielski, J. Wildt // Atmos. Chem. Phys, 2009, Vol. 9, C. 5155-5236.
14. *Beauchamp J.* On the use of Tedlar® bags for breath-gas sampling and analysis / J. Beauchamp, J. Herbig, R. Gutmann , A. Hansel // J. Breath Res, 2008, Vol. 2, 046001.
15. *Pankow J.F.* An absorption model of gas/particle partitioning of organic compounds in the atmosphere / Atmospheric Environment, 1994, Vol. 28, C. 185-188.

УДК 621.315: 621.314

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПО ТРЕХПРОВОДНОЙ ЛИНИИ ПОСТОЯННОГО ТОКА, РАБОТАЮЩЕЙ В РЕЖИМЕ ПОВТОРНО-КРАТКОВРЕМЕННОЙ ПЕРЕГРУЗКИ ПРОВОДОВ ПО ТОКУ

Выдрова Алиса Александровна,
группа СЭМ-18,
Малькова Яна Михайловна,
группа ЭРС-15-2,
Санкт-Петербургский горный
университет

Аннотация. В статье представлены результаты физических экспериментов, подтверждающих эффективность использования нового способа передачи электроэнергии – по трехпроводной линии постоянного тока. Приведено сравнение его пропускной способности с классическим, получены формы графиков температурных зависимостей и определена стабильность питания в точке подключения нагрузки при переключении проводов.

Ключевые слова: постоянный ток; передача электроэнергии постоянным током; режим повторно-кратковременной перегрузки проводов по току

EXPERIMENTAL STUDY OF THE TRANSMISSION OF THE ELECTRIC POWER BY THE THREE-WIRE DC POWER LINE, WHICH IS OPERATING IN A SHORT-TIME OVERCURRENT

Vydrova Alisa,
group PEM-18,
Malkova Yana,
group ERS-15-2,
Saint-Petersburg Mining University

Abstract. The article presents the results of physical experiments confirming the efficiency of using a new method of transmitting electricity through a three-wire DC line. A comparison of its transmission capacity with the classical one is given, the forms of temperature dependency graphs are obtained, and the stability of the power supply at the load connection point when switching wires is determined.

Keywords: DC; DC power transmission; short-time overcurrent mode

Введение. Развитие и строительство новых объектов инфраструктуры, а также крупных промышленных комплексов требует не только надежного, бесперебойного питания, но и «наращивания» новых мощностей [1]. В связи

с отдаленностью минерально-сырьевых объектов от единой энергосистемы целесообразно повышать эффективность линии электропередачи, изменением ее режима работы [2]. Одним из таких способов является передача электроэнергии по трем проводам, работающим в режиме повторно-кратковременной перегрузки по току постоянным током [3]. Использование данного метода имеет некоторые преимущества в сравнении с классическим способом – по трехпроводной линии переменного тока. Так на постоянном токе в линии электропередачи не возникает падения напряжения, обусловленного реактивным сопротивлением, следовательно, можно передать большую по сравнению с линией переменного тока мощность, сохраняя нормальное напряжение на нагрузке [4]. Режим переключения проводов позволяет передавать полный ток по одному проводу, в то время как по двум другим передается по половине действующего значения (нагрев – одну треть периода, остывание – две трети). Это позволяет перегружать провода линии электропередачи по току и повышать ток линии электропередачи, сохраняя допустимую температуру проводов [3], обуславливая повышенную пропускную способность предлагаемой трехпроводной линии электропередачи постоянного тока по сравнению с классической.

Цель работы. Экспериментальное исследование передачи электрической энергии по трехпроводной линии постоянного тока, работающей в режиме повторно-кратковременной перегрузки по току.

Метод. Для достижения цели нами была разработана физическая модель рассматриваемой линии электропередачи (рис. 1).

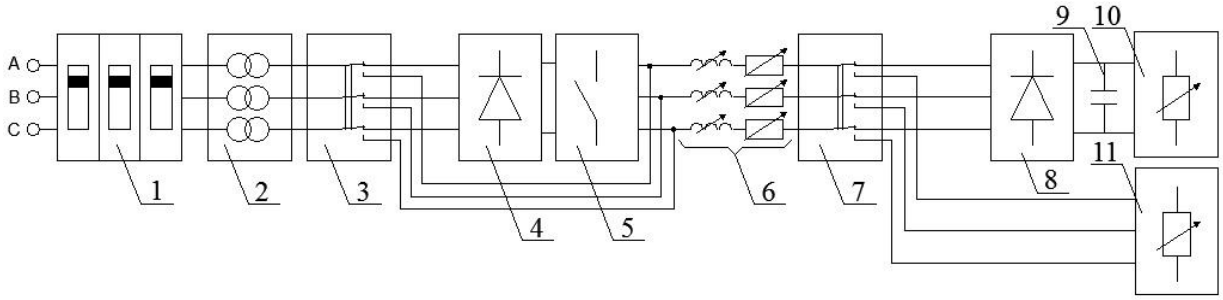
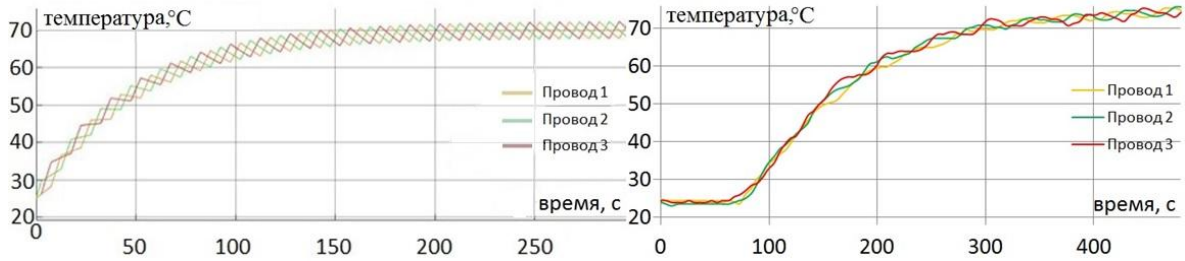


Рис. 1 - Функциональная схема физической модели

На рис. 1 соответствующими цифрами отмечены: 1 – автоматический выключатель, 2 – трехфазный трансформатор 380/43 В, 3 – переключатель, 4 – трехфазный выпрямитель, 5 – система переключения проводов, 6 – блок имитации активно-индуктивного сопротивления линии, 7 – переключатель, 8 – выпрямитель, 9 – сглаживающий конденсатор, 10 – блок нагрузки линии постоянного тока, 11 – блок нагрузки линии переменного тока.

Эксперимент 1. Требовалось сравнить результаты – формы температурных зависимостей от времени, полученные при компьютерном моделировании и натурном эксперименте. Для этого к каждой высокоомной вставке проводов линии были вплотную подключены термодатчики разработанной системы измерения температур. Опыт проводился для

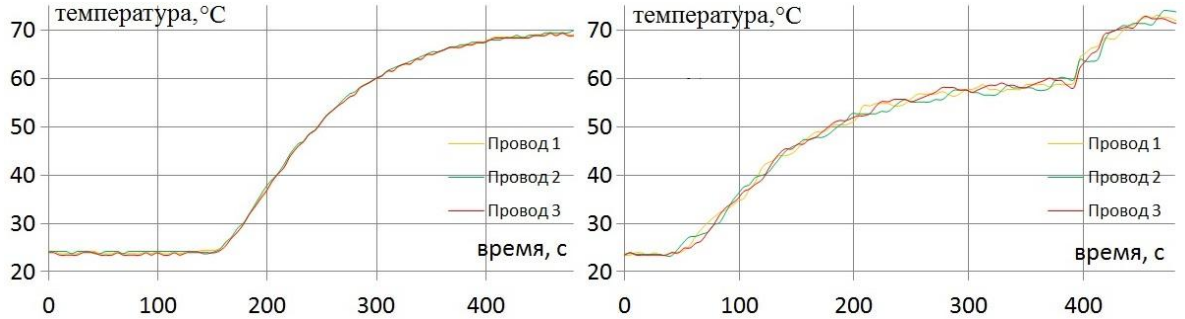
нагрузки в конце линии сопротивлением 15 Ом, т.к. это обеспечивает более быстрый нагрев проводов до установившегося значения. Результаты представлены на рис. 2.



а) б)

Рис. 2 - Формы зависимостей температуры от времени рассматриваемой трехпроводной линии:
а) при компьютерном моделировании, б) при натурном эксперименте

Эксперимент 2. Во втором эксперименте был определен коэффициент запаса по мощности, который находится согласно [5]. Для определения максимально допустимого тока по нагреву линия электропередачи переменного тока была доведена до установившейся температуры 70 °C, а затем, подбирая нагрузку, до такой же температуры были нагреты провода рассматриваемой линии постоянного тока (рис. 3). При достижении установившейся температуры проводов были зафиксированы напряжения на высокоомной проволоке с известным сопротивлением. И, применяя закон Ома, был определен коэффициента запаса по мощности через напряжения на проволоке.



а) б)

Рис. 3 - График зависимости температур проводов трехпроводной линии:
а) переменного тока, б) постоянного тока

Таким образом, коэффициент запаса по мощности трехпроводной линии постоянного тока, работающей новом режиме, полученный экспериментально, будет равен 1,49. Небольшое различие полученного результата с теоретическим обусловлено дискретностью блока нагрузки.

Эксперимент 3. В связи с переключением проводов и вызванными ими переходными процессами необходимо поддерживать постоянный уровень напряжения на нагрузке. Для этого к выходу выпрямителя присоединен сглаживающий конденсатор. Эксперимент состоял в определение провала

напряжения на нагрузке при различных емкостях сглаживающего конденсатора. При емкости конденсатора 940 мкФ в натурном эксперименте глубина провала напряжения составила 23% , а при увеличении емкости в два раза – 15%, что превышает теоретическое значение в несколько раз.

Вывод. Таким образом, в ходе экспериментальной проверки разработанной физической модели трехпроводной линии постоянного тока было доказано соответствие температурных форм, полученных при натурном и компьютерном моделировании. На основе полученного значения коэффициента запаса по мощности, был сделан вывод об эффективности использования способа передачи электроэнергии по трехпроводной линии постоянного тока, так передаваемую активную мощность можно увеличить на 11%. Следовательно, пропускная способность линий электропередачи при использовании данного способа больше, чем при классической передаче электроэнергии. Эксперимент по определению провалов напряжения на нагрузке подтвердил необходимость в применении конденсатора, однако эффективнее использовать силовую преобразовательную технику в качестве устройств переключения проводов для снижения глубины провалов напряжения. Данные выводы доказывают преимущества передачи электроэнергии новым способом и подтверждают целесообразность его применения и возможность внедрения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приказ от 28 февраля 2018 г. №121 «Об утверждении схемы и программы развития единой энергетической системы России на 2018-2024 годы». https://minenergo.gov.ru/node/11323.

2. *Шклярский Я.Э.* Обзор способов электрификации районов со слаборазвитой электроэнергетической инфраструктурой / Я.Э. Шклярский, С.В. Соловьев, А.И. Барданов // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME-2017. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, 2017, С. 2015–2019.

3. *Соловьев С.В.* Повышение передаваемой активной мощности в распределительной сети среднего напряжения электротехнического комплекса промышленного предприятия. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербургский горный университет, 2017, 144 с.

4. *Балыбердин Л.Л.* Повышение энергоэффективности энергосистем путем применения вставок и передач постоянного тока / Л.Л. Балыбердин, Л.А. Кощеев // ЭЛЕКТРО, 2010, Т. 3, С. 2-6.

5. *Arrillaga J.* High Voltage Direct Current Transmission. - London, UK: IET power and energy series, 2008. - 296 с.

УДК 656

ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОМФОРТНОСТИ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПАССАЖИРОВ ГОРОДСКИМ АВТОБУСНЫМ ТРАНСПОРТОМ

Высоцкая Мария Сергеевна,
Коковина Светлана Александровна,
группа ТОП-15,
Санкт-Петербургский горный университет

Аннотация. В данной статье рассматривается понятие комфортности транспортного обслуживания пассажиров городским общественным автобусным транспортом, уточняется система показателей комфортности поездки и устанавливаются наиболее важные из них в соответствии с мнением потребителей транспортных услуг.

Ключевые слова: качество транспортных услуг; показатели комфортности; автобусные перевозки; удовлетворенность пассажиров

FORMATION OF THE SYSTEM OF INDICATORS OF COMFORTABILITY OF SERVICE OF PASSENGERS BY URBAN BUS TRANSPORT

Vysockaya Maria Sergeevna,
Kokovina Svetlana Alexandrovna,
group TOP-15,
Saint-Petersburg Mining University

Abstract. In this article the concept of comfort of transport service of passengers by city public bus transport is considered, the system of indicators of comfort of a trip is formed and the most important of them according to opinion of consumers of transport services are allocated.

Keywords: quality of transport services; indicators of comfort; bus transportation; passenger satisfaction

В исследовании качественных показателей поездки основополагающим принципом является наличие обратной связи, которая позволяет сформировать общественное мнение об удобстве и комфорте транспортных средств. Цель данной работы заключается в исследовании показателей комфортности поездки в городском автобусном транспорте, которые представлены в нормативно-правовых и литературных источниках, и их

актуализация с учетом общественного мнения в целях повышения удовлетворенности пассажиров поездкой в автобусе.

Номенклатура показателей качества пассажирских перевозок, осуществляемых городскими автобусами общего пользования, применяемая в сфере управления качеством пассажирских перевозок, определена ГОСТ Р 51004-96 [1], а требования к условиям обслуживания при пребывании пассажиров в автотранспортном средстве, а также в начальном, промежуточных и конечном пунктах следования представлены в ГОСТ Р 51825-2001 [2], а также в СанПиН 4616-88 [3] и ГОСТ 33555-2015 [4].

Помимо показателей, указанных в приведенных выше источниках, критерии комфортабельности поездки рассматриваются в учебной литературе [5…14], в том числе у И.В. Спирина [15] , который определяет их, как комплексное свойство предоставления пассажирам и экипажу необходимого комфорта в пути.

Под комфортабельностью понимают свойство технического объекта предоставлять человеку комфорт и уют в месте пребывания. Комфортабельность подвижного состава, кроме такого конструктивного качества, как плавность хода, характеризуется удобством посадочно-высадочных устройств (например, расположение и число ступеней), качеством сидений, их расположением по отношению к направлению движения, размером проходов, поручней и покрытия пола в салоне, вентиляцией и микроклиматом, освещенностью и обзорностью, уровнем внутреннего шума и вибраций, ускорениями при движении, наличием дополнительного оборудования.

Для оценки показателей комфортности обслуживания пассажиров городским автобусным транспортом в работе использовался метод экспертных оценок, а именно метод анкетного опроса, который предполагает разработку специальных анкет и основывается на предварительном сборе информации от экспертов с последующей обработкой полученных данных.

Качество пассажирских автобусных перевозок определяется совокупностью показателей, характеризующих уровень удовлетворения потребностей пассажиров в транспортном обслуживании. Для проведения исследования показатели комфортности были сгруппированы в анкете в виде четырех блоков:

1. Информационное оснащение автобуса.
2. Обслуживание пассажиров автобуса.
3. Микроклимат в салоне автобуса.
4. Комфортабельность поездки в автобусе и его техническое оснащение.

В рамках исследования произведен опрос по 4 группам населения: школьники, студенты, взрослые, пенсионеры (далее – эксперты), пользующихся городским общественным транспортом, а именно – автобусами.

Второй этап анкетирования проводился через интернет платформу посредством голосования в социальных сетях. Результаты, полученные на обоих этапах, хорошо коррелируют между собой.

В результате социологического опроса пассажиров выявлено большее количество факторов, влияющее на удовлетворенность поездкой в автобусе, по сравнению с теми, что закреплены в нормативно-правовых актах. Поэтому в работе была сформирована система показателей комфортности транспортного обслуживания в городских автобусах с учетом мнения потребителей транспортных услуг (пассажиров) и, на ее основании, установлены 11 наиболее значимых показателей комфортности поездки в автобусе (рис. 1).

Следующим этапом было решено разделить все показатели, выбранные ранее, на три группы, зависящие от подвижного состава, человеческого фактора и автотранспортного предприятия (рис. 2).

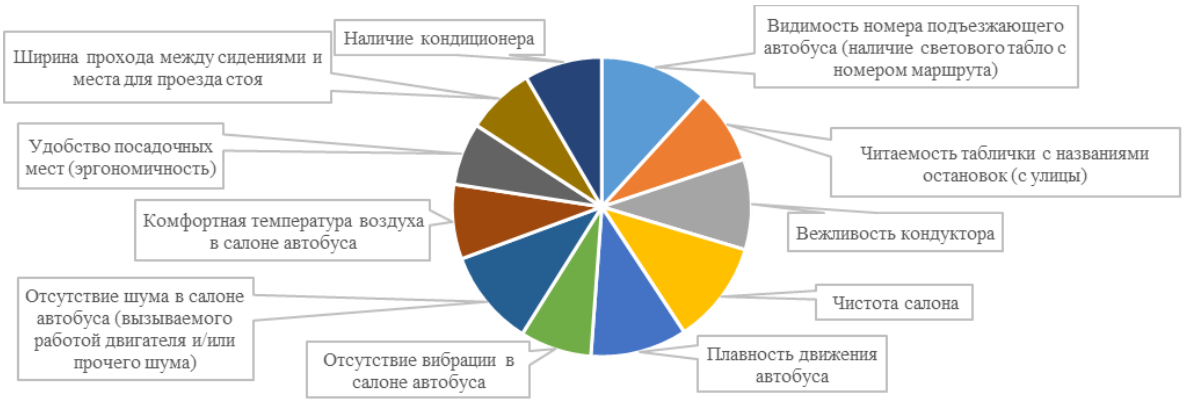


Рис. 1 - Круговая диаграмма наиболее важных показателей комфортности поездки

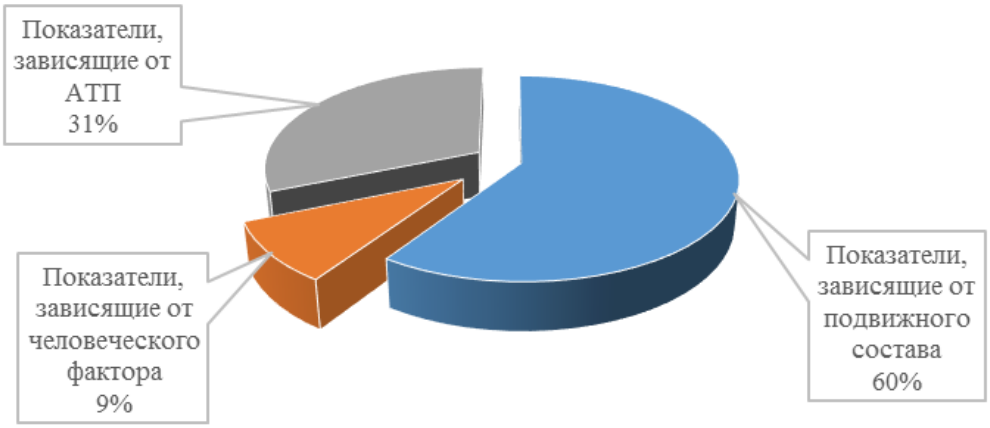


Рис. 2 - Круговая диаграмма разделения показателей комфортности поездки в автобусе на три группы с процентным соотношением друг к другу

Результаты исследования направлены на получение, прежде всего, не экономического, а социального эффекта за счет повышения уровня удовлетворенности пассажира поездкой в автобусе и могут быть использованы при принятии решений по разработке мероприятий по

совершенствованию перевозочного процесса городским общественным транспортом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 51004-96. Услуги транспортные. Пассажирские перевозки. Номенклатура показателей качества.
2. ГОСТ Р 51825-2001. Услуги пассажирского автомобильного транспорта. Общие требования.
3. СанПиН 4616-88 «Санитарные правила по гигиене труда водителей автомобилей».
4. ГОСТ 33555-2015 «Автомобильные транспортные средства. Шум внутренний. Допустимые уровни и методы испытаний».
5. Пассажирские перевозки: учебное пособие / Т.А. Менухова, С.В. Егоров. − СПб.: Свое издательство, 2017. − 162 с.
6. *Пермовский А.А.* Пассажирские перевозки: Учебно-методическое пос. – Н. Новгород: НГПУ, 2011. – 164 с.
7. *Лерман Е.Б.* Организационно-экономический механизм регулирования деятельности предприятий городского пассажирского транспорта: Учебное пособие. − Омск: СибАДИ, 2015. – 112 с.
8. Сводная резолюция о конструкции транспортных средств (СР.3) (принята КВТ ЕЭК ООН. пересмотр 3. поправка 1. 2014 г.).
9. *Таубкин Г.В.* Планирование перевозок по результатам обследования пассажиропотоков / Г.В. Таубкин, О.Г. Коптелов, Г.П. Быкова // Транспортное дело России, 2015, Т. 3.
10. *Григан А.М.* Управленческая диагностика: теория и практика. Монография. – Ростов-на-Дону: Изд-во РСЭИ, 2009. - 316 с.
11. *Беляев В.М.* Организация автомобильных перевозок и безопасность движения: учеб. пособие. – М.: МАДИ, 2014. – 204 с.
12. Логистика. Общественный пассажирский транспорт / Л.Б. Миротин и др. - М.: Экзамен, 2014. - 224 с.
13. *Шмарин А.А.* Внутригородские пассажирские автобусные перевозки: основные сценарии развития отрасли // Молодой ученый, 2015, Т. 14, С. 304-306.
14. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / И.В. Спирин – 7-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 400 с.
15. *Спирин И.В.* Городские автобусные перевозки: Справочник. – М.: Транспорт, 2010. – 238 с.

УДК 622.23.05

ПРЕДПОСЫЛКИ РАЗРАБОТКИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛЕВОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ

Гарифуллин Дамир Раилевич,
аспирант,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. В статье рассмотрены состав и структура торфяного сырья после его экскавации. Целесообразно, провести первичную переработку торфяного сырья непосредственно после его выемки. При разработке устройств для измельчения торфяного сырья следует учитывать ряд интенсивных принципов совершенствования оборудования. Измельчение, усреднение торфяного сырья и сепарацию древесных включений целесообразно проводить в одном технологическом устройстве в полевых условиях.

Ключевые слова: экскавация торфяного сырья; полевая переработка торфяного сырья; принципы совершенствования оборудования

PREREQUISITES FOR THE CREATION OF EQUIPMENT FOR FIELD TREATMENT OF RAW PEAT

Garifullin Damir Raikievich,
postgraduate student,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. The article discusses the composition and structure of raw peat after its excavation. It is advisable to carry out the primary processing of raw peat immediately after its extraction. For developing devices for grinding raw peat, a number of intensive principles of equipment improvement should be taken into account. It is advisable to carry out the grinding, averaging of raw peat and the separation of wood inclusions within one technological device under field conditions.

Keywords: raw peat excavation; field treatment of raw peat; principles of equipment improvement

Торф – возобновляемый природный биоресурс, организация использования которого может значительным образом повлиять на уровень развития ряда территорий Российской Федерации [1,2,3].

Торф относится к исключительно гетеропористым (неоднороднопористым) системам. В нем следует различать макро- и микроструктуры. Композиции элементов микроструктуры заполняют ячейки порового пространства макроструктуры, образованной в основном структурами переплетения из остатков-торфообразователей (волокон). В технологии торфяного производства структура торфа должна учитываться при любых операциях, касающихся переработки торфа, его сушки или обезвоживания [3, 4].

При производстве торфяной продукции экскавированное торфяное сырьё следует подвергать измельчению, усреднению и сепарации для повышения его качественных характеристик [5].

Волокнистая структура торфяного сырья и наличие в нем древесных включений затрудняет выполнение процессов его переработки. При переработке торфа низкой степени разложения известные измельчающие устройства торфяного сырья забиваются волокнистой частью растений-торфообразователей, в следствие чего производительность устройств снижается [6,7]. Кроме того, наличие древесных включений в торфе отрицательно сказывается на работе устройства механического обезвоживания и формования и ухудшает качество продукции [4].

При карьерном способе разработки торфяной залежи выемка торфяного сырья осуществляется ковшом экскаватора. При срезании стружки торфяного сырья с откоса забоя происходит первичное его разрыхление и измельчение. При этом в ковш экскаватора попадают и древесные включения, размеры которых, как правило, не превышают размеры ковша [8,9, 10].

Целесообразно, провести первичную переработку торфяного сырья непосредственно после его выемки с целью снижения затрат энергии на транспортировку мокрого торфяного сырья. Для этого предлагается включить в технологическую цепочку производства торфяной продукции полевой модуль предварительной механической переработки торфяного сырья [11,12,13].

Анализ конструкций и принципов действия существующих устройств для измельчения торфяного сырья позволяет вскрыть недостатки технологического и конструктивного характера и показывает, что значительное улучшение их характеристик путём модернизации практически невозможно [2,12]. В связи с вышесказанным возникает необходимость создания принципиально новых рабочих органов, отвечающих современным требованиям с учетом энергоэффективности.

При разработке устройств для измельчения торфяного сырья следует учитывать ряд интенсивных принципов совершенствования оборудования [11, 14].

На основе принципа унификации рабочих органов устройств по измельчению торфяного сырья может использоваться активный рабочий орган в виде барабана с резцами, расположенными на его поверхности. Возможности рабочих органов барабанного типа определяют широкий

диапазон их использования [14]. Многофункциональностью устройства является его возможность выполнять функции измельчения торфяного сырья, усреднения структуры торфяного сырья и сепарации древесных включений в одном технологическом устройстве.

Конструктивные, кинематические и энергетические параметры, а также режимы эксплуатации рабочего органа выбираются с учетом физико-механических свойств и размерно-массовых параметров торфяного сырья [4].

Компоновочные решения устройства следует определять взаимным расположением рабочих органов в пространстве с учетом:

- размеров и формы приемного бункера и барабана;
- расположения барабана (вертикальное или горизонтальное);
- места отвода измельченного материала и отходов сепарации.

Таким образом, при производстве торфяной продукции в полевых условиях экскавированное торфяное сырьё следует подвергать измельчению, усреднению и сепарации древесных включений.

Целесообразно, предусмотреть создание и разработку многофункционального устройства с учетом ряда интенсивных принципов совершенствования, рассмотренных в статье.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Михайлов А.В.* Торфяные ресурсы Северо-западного федерального округа России и перспективы их освоения / А.В. Михайлов, С.Л. Иванов, А.В. Большунов, Э.А. Кремчеев // Записки Горного института, 2013, Т. 2, С. 226-230.

2. Технология и комплексная механизация разработки торфяных месторождений / А.Е. Афанасьев, Л.М. Малков, В.И. Смирнов и др. – М.: Недра, 1987. - 311 с.

3. Физика и химия торфа: Учеб. пособие для вузов / И.И. Лиштван, Е.Т. Базин, Н.И. Гамаюнов, А.А. Терентьев. – М.: Недра, 1989. - 304 с.

4. *Михайлов А.В.* Требования к торфяному сырью для производства окускованного топлива / А.В. Михайлов, А.В. Большунов, Э.А. Кремчеев, К.В. Епифанцев // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2012, Т. 4, С. 59-63.

5. *Mikhailov A.* Mine Planning and Equipment Selection / Proceedings of the 22nd MPES Conference, Dresden, Germany, 14th – 19th October 2013, Vol. 27(2), 2018, С. 1243 - 1249.

6. *Горфин О.С.* Машины и оборудование по переработке торфа. Часть 1. Производство торфяных брикетов. Учебник. Изд. Второе дополненное и переработанное / О.С. Горфин, А.В. Михайлов. – Тверь: ТвГТУ, 2013. - 226 с.

7. *Гарифуллин Д.Р.* Анализ методов диспергирования влажного торфяного сырья / Матер. 8-ой Межд. науч.-практ. конфер. молодых ученых «Опыт прошлого – взгляд в будущее». Тула, 2018, С. 88-90.

8. *Михайлов А.В.* Перспективы развития новых технологий добычи торфа / А.В. Михайлов, Э.А. Кремчеев, А.В. Большунов, Д.О. Нагорнов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), , 2010, Т. 9, С. 189-194.
9. *Михайлов А.В*. Формирование и эффективное использование машинного парка торфодобывающих компаний / А.В. Михайлов, С.Л. Иванов, В.В. Габов // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело, 2015, Т. 14, С. 82-91.
10. *Mikhailov A.V. et al*. Excavating and loading equipment for peat mining / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 87, 022014.
11. Торфяные машины и комплексы / С.Г. Солопов, Л.О. Горцакалян, Л.Н. Самсонов, В.И. Цветков. – М.: Недра, 1981. - 416 с.
10. *Максаров В.В.* Машины и оборудование: учебник / В.В. Максаров, А.В. Михайлов, С.Л. Иванов. – СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2015.
12. *Mikhaelov A.V.* Mechanization of extraction of peat from undrained deposit / A.V. Mikhaelov, E.A. Kremcheev, D.O. Nagornov // Journal of Mining Institute, 2012, Vol. 196, C. 256-260.
13. *Михайлов А.В.* Щеточные торфяные машины. Сборник научных трудов. вып. 71. - СПб.: ВНИИТП, 1994. – 170 с.

СИСТЕМА СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ ДЛЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ БАТАРЕЙ В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ КУБА

Герра Диас Даниель,
аспирант,
Яковлева Эмилия Владимировна,
канд. техн. наук, доцент,
Санкт-Петербургский горный университет

Аннотация. Сегодня эффективность солнечных электростанций на территории Республики Куба находится на низком уровне, несмотря на высокий уровень развития технологий в данной области. В статье представлены результаты анализа потенциала солнечной энергии на территории Республики Куба. В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований, целью которых является повышение эффективности применения фотоэлектрических станций. Описана разработанная двухосевая система слежения за Солнцем. Данная система слежения повышает эффективность преобразования солнечной энергии в электрическую энергию в фотоэлектрических модулях.

Ключевые слова: система слежения; фотоэлектрическая батарея

SUN TRACKING SYSTEM FOR PHOTOELECTRIC BATTERIES IN CLIMATIC CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF CUBA

Guerra Dias Danieel,
postgraduate student,
Yakovleva Emilia Vladimirovna,
PhD, associate Professor,
Saint-Petersburg Mining University

Abstract. Nowadays the efficiency of solar power plants in the Republic of Cuba is low, despite the high level of technology development in this area. The article presents the results of the analysis of the potential of solar energy in the territory of the Republic of Cuba. This paper presents the results of experimental studies, the purpose of which is to increase the efficiency of using photovoltaic stations. The developed two-axis sun tracking system is described. This tracking system increases the conversion efficiency of solar energy into electrical energy in photovoltaic modules.

Keywords: система слежения; фотоэлектрическая батарея

Введение.

Сегодня, доля генерации электрической энергии, получаемой от возобновляемых источников энергии, увеличивается с каждым годом [1]. Повсеместно используются ветрогенераторные установки [2], солнечные фотоэлектрические станции, биотермические установки и системы приливов и отливов. В данной работе рассматривается способ повышения эффективности улавливания солнечной энергии фотоэлектрической панелью.

Для того чтобы объективно оценить возможность использования солнечной энергии, а также эффективность использования данного источника энергии, необходимо проводить комплексный анализ данных о суммарной солнечной энергии в том или ином регионе [3]. Для этого проводят исследования радиационного режима во времени, для определения выработки тепла либо электроэнергии гелиоустановкой за один месяц, сезон или за один год с дальнейшей оценкой ее технико-экономических показателей. Для анализа инсоляции используют уже имеющиеся данные в режиме реального времени с помощью глобальных спутников систем, климатические атласы, а также полевые замеры солнечной радиации непосредственно на объекте.

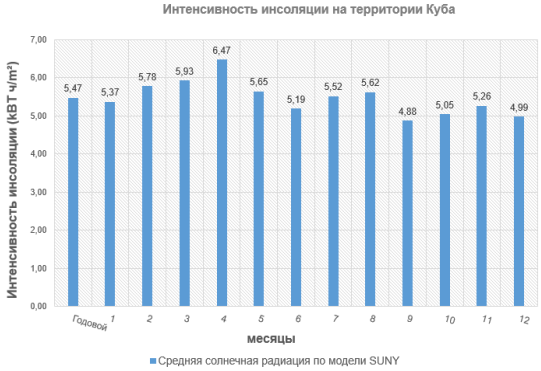


Рис. 1 - Интенсивность инсоляции на территории Куба по месяцам [1]

Как известно, величина солнечного излучения зависит от широты и меняется от 6 кВт/м2 на экваторе до 1,3 кВт/м2 на полюсе. На рис. 1 показана интенсивность солнечного излучения на территории Кубы по средствам моделирования SUNY.

Наибольший поток солнечного излучения приходится на летние месяцы - более 5 кВт ч/ м2 в день в средней полосе Республике Куба (рис. 1).

Разработка системы слежения за Солнцем.

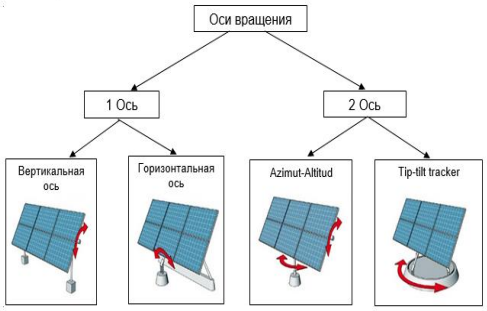


Рис. 2 - Типы систем слежения за солнцем

Система слежения за Солнцем (солнечный трекер) - это комплекс устройств и механизмов, обеспечивающий оптимальное положение приемных поверхностей фотоэлектрических панелей относительно Солнца за счет следования за ходом Солнца по небосводу. Тем самым увеличивается количество солнечного излучения, поступающего на приемные поверхности.

Одноосевой солнечный трекер улучшает прием солнечного излучения примерно на 25%, а двухосевой трекер примерно на 40% (рис. 2) [7].

Экспериментальная установка.

Рис. 3 - Экспериментальная установка

Эта система управления трекером (рис. 3) предназначена для того, чтобы улавливать солнечное излучение в направлении с востока и запада (слева и справа). Система определяет, каким способом переместить панель, чтобы она был направлена непосредственно на источник света. Для приведения в движение панели используется сервопривод, так как данный вид привода доступен в широком диапазоне размеров и их можно масштабировать в соответствии с размерами панели.

Результаты эксперимента.

Согласно данным, собранным экспериментальной моделью (рис. 3), разработанной для изучения электрических характеристик солнечных систем слежения (СЕ) и стационарных систем (СС) с фотоэлектрическими модулями в одинаковых климатических условиях было выявлено, что применения систем слежение повышает эффективность использования фотоэлектрических панелей. В среднем величина улавливаемого солнечного излучения выше на 17% при использовании системы слежения за Солнцем, чем при фиксированном расположении солнечных панелей

Заключение.

Данные исследований по горизонтальной радиации показывают, что солнечная радиация, улавливаемая солнечной панелью, может быть увеличена путем внедрения более передовых технологий, таких как системы отслеживания наиболее яркого объекта, поскольку это увеличит количество вырабатываемой электроэнергии в стране на 10-30 %, а также снижает себестоимости производства 1 кВт фотоэлектрической энергии.

Эти результаты подтверждают, что солнечные системы слежения являются альтернативным способом повышения эффективности улавливания и дальнейшего преобразования солнечного излучения на фотоэлектрических электростанциях в Республике Куба.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Artyukhov I.I.* Autonomous power supply system based on a diesel generator and renewable energy sources for remote rural areas / I.I. Artyukhov, S.F. Stepanov, S.V. Molot, G.N. Tulepova, E.T. Erbaev, K.K. Tulegenov // Proceedings of the 2018 19th International Scientific Conference on Electric Power Engineering. (EPE 2018), Brno Czech Republic, 2018, C. 448-443.

2. *Zhukovskiy Y.* Concept of Smart Cyberspace for Smart Grid Implementation / Y. Zhukovskiy, D. Malov // IOP Conference Series: Journal of Physics, 2018, Vol. 1015(4), 042067.

3. *Abramovich B.* Problems of energy security support at the enterprises of mineral resources sector / B. Abramovich, Y. Sychev // Journal of Mining institute, 2016, Vol. 217, C. 132-139.
4. Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA) Model, National Renewable Energy Laboratory.
https://www.energie.ws/mapa-gis-de-libre-acceso.
5. *Evstratov A.* A new torque control system of permanent magnet synchronous motor / A. Evstratov, V. Zavyalov, A. Grigoryev, I. Semykina // MATEC Web of Conferences, 2016, Vol. 91, 01046.
6. *Frolov V.* Mathematical simulation of processes in discharge chamber of multi-chamber system for lightning protection at overhead power lines / V. Frolov, D. Ivanov, I. Murashov, A. Sivaev // Proceedings of the 2016 IEEE North West Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference, (EIConRus 2016), 2016, 7448245, C. 562-565.
7. *Huang B. J.* Improving solar PV system efficiency using one-axis 3-position sun tracking / B. J. Huang, Y.C. Huang, G.Y. Chen, P.C. Hsu, K. Li // EnergyProcedia (PV Asia Pacific Conference 2012), 2012, Vol. 33, C. 280–287.
8. *Nemkov D.A.* Development and creation of a system for tracking the position of the sun / D.A. Nemkov, D.A. Nemikhin, A.V. Matveev, I.N. Odinaev // Proceedings of the Conference the Technical sciences in the world: from theory to practice 2 Rostov on Don, 2015, C. 35-38.
9. *Semykina I.* The question of energy-efficient design of the automated electric drive of multi-engine belt conveyors / I. Semykina, V. Zavyalov // MATEC Web of Conferences, 2015, Vol. 37, 01048
10. *Breido I.V.* Method of indirect overheating protection for electric drives of mining installations / I.V. Breido, I.Yu. Semykina, G.S. Nurmaganbetova // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University Geo Assets Engineering, 2018, Vol. 329 (2), C. 65-73.

УДК 621.914

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПОВЕРХНОСТИ И КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ НАПРАВЛЯЮЩИХ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЖУЩЕЙ КЕРАМИКИ

Горшков Илья Валерьевич,
аспирант,
Санкт-Петербургский Горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. В работе рассмотрены проблемы, возникающие при фрезеровании направляющих металлорежущих станков инструментом, оснащённым керамическими режущими пластинами. Результаты исследований показали, что качество обработки и стойкость инструмента при чистовом фрезеровании зависит от параметров структуры керамического инструмента. По результатам исследований предложен метод прогнозирования износа керамического режущего инструмента при фрезеровании.

Ключевые слова: режущая керамика; стойкость инструмента; фрезерование; качество обработки; направляющие металлорежущих станков

TECHNOLOGICAL SUPPORT OF THE ACCURACY OF THE SURFACE AND QUALITY OF THE SURFACE LAYER OF THE GUIDE METAL-CUTTING MACHINES BASED ON THE USE OF THE CUTTING CERAMICS

Gorshkov Ilya,
postgraduate student,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. The paper discusses the problems that arise when milling guide machine tools with a tool equipped with ceramic cutting plates. The research results showed that the quality of processing and tool life during finishing milling depend on the parameters of the structure of the ceramic tool. According to the results of research, a method is proposed for predicting the wear of a ceramic cutting tool during milling.

Keywords: cutting ceramics; tool life; milling; machining quality; machine tool guides

Направляющие металлорежущих станков являются наиболее ответственными деталями станка, от работы которых зависит последующая точность изготовления деталей. Направляющие должны соответствовать следующим техническим требованиям: точность относительного перемещения, долговечность по точности, отсутствие вибраций в процессе резания, равномерность медленных движений, точность установочных перемещений, малые силы трения, ремонтопригодность [1-5].

Нарушение любого из этих требований ведёт к неправильной работе станка, что в итоге приводит к ухудшению качества изготавливаемых деталей и уменьшению производительности оборудования. Многие из проблем возникающие при эксплуатации направляющих обусловлены технологической наследственностью, закладываемой на стадии изготовления станка [2, 4, 6].

Основными дефектами изготовления направляющих металлорежущих станков являются прижоги, риски, выхваты, задиры и другие механические повреждения рабочей поверхности направляющих [5, 6].

Возникновение таких дефектов обусловлено технологией изготовления. На данный момент основной технологией получения таких высокоточных поверхностей, как направляющие металлорежущих станков, является шлифование. Данный метод не всегда позволяет добиваться необходимого качества обработки, при этом этот способ является низкопроизводительным и требует особой подготовки цехового помещения из-за распространения частиц абразивного материала вокруг станка [5, 6]. Переход от шлифования к чистовому фрезерованию может решить эти проблемы.

Чистовое фрезерование целесообразно проводить фрезами оснащёнными керамическими сменными многогранными пластинами, так как такой инструментальный материал обладает высокой теплостойкостью и способен работать на высоких скоростях резания [7-9].

Высокоскоростное фрезерование керамическим режущим инструментом позволяет добиваться высочайшего качества обработки поверхности при максимальной производительности, но эта технология также не лишена недостатков [2, 10, 11]. Низкая стабильность режущей керамики при прерывистом резании приводит к раннему выходу из строя инструмента [2, 12, 13].

При потере работоспособности одной из керамических пластин, нагрузка на остальные пластины возрастает, инструмент быстро выходит из строя, что немедленно приводит к потере качества обработки [7, 14, 15].

Керамика оксидно-карбидного типа изготавливается на основе оксида алюминия и карбидов титана, вольфрама и молибдена горячим прессованием [1, 16, 17]. На работоспособность режущей керамики, особенно на стойкость инструмента, влияют параметры структуры материала, из которых наиболее важными являются количество карбидных зерен и их средний диаметр [2, 18].

Керамические пластины, обладающие более мелкозернистой структурой (средний размер зерен 1,2...1,5 · 10^3 nm) и меньшим процентом пористости (около 8%) имеют большую работоспособность по сравнению с керамическими пластинами, у которых структура состоит из зерен большого диаметра (средний размер зерен 1,9...2,5 · 10^3 nm) и имеется сравнительно большой процент пористости (около 12%) [1, 19].

Известно, что керамические пластины с более крупной структурой обладают величинами удельного электрического сопротивления близкими к R = 10 Ω, а керамические пластины с более мелкой микроструктурой имеют параметры удельного электрического сопротивления близкими к R = 100 Ω [4].

В ходе данного исследования была проведена серия опытов, при которых фреза, оснащенная керамическими пластинами со сходными параметрами удельного электрического сопротивления (группа пластин с R = 75…100 Ом·м), показала следующие результаты устойчивости процесса обработки методом фрезерования: фактический путь инструмента без потери качества обработки составил l = 32 м, после чего произошло резкое ухудшение шероховатости обрабатываемой поверхности и выход за пределы поля допуска обрабатываемого элемента, фактический период стойкости инструмента, когда он мог работать без потери качества составил T = 35,6 мин.

Исследование обработанной поверхности показало, что до достижения инструментом предельного значения работоспособности, качество обработки находилось в пределах, достаточных для деталей данного типа – шероховатость поверхности оказалась не выше Ra = 1,6 мкм, отклонения по плоскостности не превышали 0,03 мм на длине 100 мм.

Во второй серии опытов одна из пластин фрезы была выбрана таким образом, чтобы ее работоспособность и удельное электрическое сопротивление резко отличалось среди представителей группы (R = 10 Ом·м). Проведенные испытания показали, что пройденный инструментом путь без потери качества обработки и фактический период стойкости сократился в 1,5 раза.

На основании проведенных исследований на этапе чистовых операций фрезерования направляющих металлорежущих станков установлено, что в диапазоне одной марки режущей керамики, структура материала существенным образом оказывает влияние на стойкость и режущие способности керамического режущего инструмента, что позволяет стабилизировать процесс резания [12, 13, 16, 17, 18, 19].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Максаров В.В.* Влияние структурных параметров режущей керамики на работоспособность инструмента при обработке прецизионных поверхностей деталей горных машин / В.В. Максаров, А.Д. Халимоненко // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2017, Т. 8 (1), С 56-64.

2. *Максаров В.В.* Исследование работоспособности инструмента, оснащённого сменными пластинами из режущей керамики / В.В. Максаров, А.Д. Халимоненко, Ю. Ольт, Т. Лаатсит // Инструмент и технологии, 2010, Т. 27, С. 54-58.
3. *Максаров В.В.* Моделирование и управление динамическими свойствами технологических систем / В.В. Максаров, П.В. Леонидов // Записки Горного института, 2014, Т. 209, С. 71-77.
4. *Максаров В.В.* Обеспечение качества при фрезеровании режущей керамикой точных элементов узлов и деталей машин / В.В. Максаров, А.Д. Халимоненко // Современное машиностроение. Наука и образование. 2017, № 6, С. 572-582.
5. *Максаров В.В*. Технологическое обеспечение параметров точности и шероховатости обработки станин на основе совершенствования торцевого фрезерования на станках с ЧПУ / В.В. Максаров, Р.Р. Рахманкулов // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьёва, 2017, Т. 1(40), С. 268-276.
6. *Максаров В.В.* Технология обеспечения качества геометрических параметров при обработке привалочной поверхности блока цилиндров двигателя внутреннего сгорания / В.В. Максаров, Р.Р. Рахманкулов // Качество и жизнь, 2016, Т. 3(11), С. 61-65.
7. *Халимоненко А.Д.* Анализ устойчивости работы многолезвийного инструмента, оснащенного режущей керамикой / А.Д. Халимоненко, Т.С. Голиков // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME-2017. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, 2017, Т. 1, С. 305-308.
8. *Халимоненко А.Д.* Точность обработки при точении заготовок режущим инструментом, оснащенным сменными керамическими пластинами / А.Д. Халимоненко, Р.В. Вьюшин // Записки горного института. 2014. Т. 209. С. 99-103.
9. *Maksarov V.V.* Quality assurance during milling of precision elements of machines components with ceramic cutting tools / V.V. Maksarov, A.D. Khalimonenko // International Review of Mechanical Engineering, 2018, Vol. 12 (5), С. 437-441.
10. *Maksarov V.V.* Stability analysis of multipoint tool equipped with metal cutting ceramics / V.V. Maksarov, A.D. Khalimonenko, K.G. Matrenichev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 87, С. 82030.
11. *Maksarov V.V.* Forecasting performance of ceramic cutting tool / V.V. Maksarov, A.D. Khalimonenko // Key Engineering Materials, 2017, V. 736, С. 86-90.
12. *Maksarov V.* Machining quality when lathing blanks with ceramic cutting tools / V. Maksarov, A. Khalimonenko, D. Timofeev // Agronomy Research, 2014, V. 12 (1), С. 269-278.
13. *Тимофеев Д.Ю.* Повышение точности изготовления прецизионных поверхностей детали шток гидроцилиндров / Д.Ю. Тимофеев, А.Е. Ефимов //

Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, С. 142-145.
14. *Maksarov V.V.* Simulation of dynamic processes when machining transition surfaces of stepped shafts / V.V. Maksarov, R.V. Viushin, V.A. Krasnyy // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, Vol. 327, 022047.
15. *Mavliutov A.R.* Optimization of cutting parameters for machining time in turning process / A.R. Mavliutov, E.G. Zlotnikov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, Vol. 327, 42069.
16. *Ershov D.Y.* Dynamic processes in technological systems of machining and the nature of their origin / D.Y. Ershov, E.G. Zlotnikov, L.E. Koboyankwe // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 87 (8), 82016.
17. *Тимофеев Д.Ю*. Повышение качества изготовления деталей из титановых сплавов с применением метода предварительного локального пластического деформирования / Д.Ю. Тимофеев, Е.В. Кошелева // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME-2017. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, 2017. Т. 1, С. 302-305.
18. *Злотников Е.Г.* Выбор технологической схемы переработки металлической стружки в автоматизированном производстве / Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, С. 91-93.
19. *Злотников Е.Г.* Современные технологии переработки и брикетирования металлической стружки в автоматизированных производствах / Е.Г. Злотников, В.В. Максаров // Записки Горного института, 2014, Т. 209, С. 36-38.

УДК 621.793: 620.199: 001.18

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА УПРОЧНЯЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ОСНОВЕ РЕГИСТРАЦИИ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН

Григорьев Егор Витальевич,
аспирант,
Санкт-Петербургский Горный университет

Аннотация. Рассмотрены принципы оптимизации контроля качества упрочняющих технологий, которые применяются для различных технических устройств и изделий. Предложен экспресс метод для оценки степени упрочнения, основанный на информационно-кинетическом подходе, который опирается на многоуровневую модель параметров АЭ, объединяющей статистический и физический подходы к диагностированию, а также дополнительно «черпающий» информацию на макро-, микро-, и нано-уровнях прочностных исследований для обоснования выбора ценных диагностических АЭ показателей.

Ключевые слова: упрочняющие технологии; акустическая эмиссия; контроль прочности; информационно-кинетический подход

QUALITY CONTROL OF HARDENING TECHNOLOGIES BASED ON REGISTRATION OF ACOUSTIC WAVES

Grigorev Egor Vitalevich,
postgraduate student,
Saint-Petersburg Mining University

Abstract. The principles of optimization of quality control of hardening technologies that are used for various technical devices and products are considered. An express method is proposed for estimating the degree of hardening based on the information and kinetic approach, which is based on a multi-level model of AE parameters, combining statistical and physical approaches to diagnostics as well as additional “scooping” information on macro-, micro-, and nano-levels of strength studies to substantiate the choice of valuable diagnostic AE indicators.

Keywords: hardening technologies; acoustic emission; control of strength; information and kinetic approach

В связи с предъявлением высоких требований к эффективности использования и надежности технических устройств, разрабатываются новые

материалы и технологии, улучшающие качество изготавливаемых из них изделий.

В частности, в промышленности получили распространение различные упрочняющие технологии, позволяющие формировать на поверхности изделий покрытия или слои, отличающиеся повышенными эксплуатационными характеристиками.

Некоторые способы могут воздействовать на весь объем изделия, то есть, упрочнять его внутреннюю структуру.

Существует большое разнообразие методов упрочняющей обработки конструкционных и инструментальных материалов, разработанных к настоящему времени.

Имеются как традиционные, хорошо освоенные технологии, так и принципиально новые технологии (ультразвуковые, лазерные, электрофизические, электронно-лучевые, импульсные и др.), позволяющие получать тонкие покрытия (или слои) на самых различных материалах или воздействовать на весь объем изделия.

В связи с разнообразием технологий, их применение не всегда обосновано, что делает актуальным необходимость проверять на целесообразность их применения и качество получаемых образцов. Критерием оценки качества технологий должна является степень упрочнения, что не всегда принимается во внимание.

Существующие методы оценки качества упрочняющих технологий можно классифицировать с точки зрения вида контролируемого сигнала и связи его с процессами, определяющими прочность материала.

Сигналы, регистрируемые методами прохождения и отражения вводимых извне волн, связаны с прочностью и процессом роста повреждений неоднозначно, поскольку упускают нано-масштабные факторы из-за огибания волнами прочностных аномалий.

Перспективными здесь являются методы излучения, так как испускают волны, которые связаны с процессом повреждения материала. Это электромагнитная и акустическая эмиссии (АЭ). Основная проблема прочностного АЭ контроля связана со сложностью интерпретации и количественного увязывания результатов регистрации сигналов АЭ с характеристиками прочности.

В данной работе предлагается информационно-кинетический подход [1-9], который опирается на многоуровневую модель, связывающую параметры АЭ и определяющих прочность процессов.

В информационно-кинетический подход входит формула Журкова (время до разрушения структурного элемента) обосновывающая и позволяющая связать диагностические параметры с ресурсом изделия.

Данный подход показал высокую информативность для оценки состояния сосудов давления, глубоководных аппаратов, сложно нагруженных металлоконструкций, изделий из композиционных материалов и на других промышленных объектах [10-19].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Носов В.В.* Контроль прочности неоднородных материалов методом акустической эмиссии // Записки Горного института, 2017, Т. 226, С. 469-479.
2. *Носов В.В.* Метод акустической эмиссии: Учебное пособие / В.В. Носов, А.Р. Ямилова. – СПб.: Изд-во «Лань», 2017. - 304 с.
3. *Носов В.В.* Принципы оптимизации технологий акустико-эмиссионного контроля прочности промышленных объектов / Дефектоскопия, 2016, Т. 7, С. 52-67.
4. *Носов В.В.* Оценка прочности конструкционных материалов на основе идентификации этапа однородного разрушения / В.В. Носов, Т.Д. Ахметшин // Научно-технические ведомости СПбГПУ, 2013, Т. 2(171), С.182-187.
5. *Носов В.В.* Автоматизированная оценка ресурса образцов конструкционных материалов на основе микромеханической модели временных зависимостей параметров акустической эмиссии // Дефектоскопия, 2014, Т. 12, С. 24-35.
6. *Носов В.В.* Акустико-эмиссионный контроль прочности сложно нагруженных металлоконструкций / В.В. Носов, А.И. Потапов // Дефектоскопия, 2015, Т. 1, С. 61-72.
7. *Носов В.В.* Контроль прочности неоднородных материалов методом акустической эмиссии // Записки Горного института, 2017, Т. 226, С. 469-479.
8. *Носов В.В.* Оценка ресурса технических объектов на основе моделирования временной зависимости параметров акустической эмиссии // Вестник Белорусско-Российского университета, 2013, Т. 2, С. 149-155.
9. *Носов В.В.* Оценка прочности сосудов давления на основе использования явления акустической эмиссии / В.В. Носов, С.В. Номинас, Н.А. Зеленский // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, 2015, Т. 2(219), С. 182-190.
10. *Носов В.В.* Акустико-эмиссионная оценка ресурса магистральных газопроводов // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME-2018. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, 2018, С. 194.
11. *Носов В.В.* АЭ-диагностика шарнира противовеса подъемного механизма Дворцового моста через реку Неву // В мире неразрушающего контроля, 2015, Т. 18(3), С. 61-64.
12. *Носов В.В.* Оценка удароопасности участка массива горных пород по результатам регистрации его сейсмоакустической активности // Записки Горного Института, 2015, Т. 216, С. 62-75.
13. *Носов В.В.* Оценка прочности и ресурса сварных конструкций на основе микромеханической модели акустической эмиссии при статическом нагружении / В.В. Носов, А.Р. Ямилова, Н.А. Зеленский, И.В. Матвиян // Деформация и разрушение материалов, 2016, Т. 11, С. 38–45.
14. *Носов В.В.* Связь акустической эмиссии упруго нагруженных заготовок и качества проката из них / В.В. Носов, Х.Ф. Махмудов // Вестник Тамбовского

университета. Серия Естественные и технические науки, 2016, Т. 21(3), С. 1195-1198.
15. *Nosov V.V.* Fault location method for unexposed gas trunk line insulationat stray current constant effect area / V.V. Nosov, A.N. Tsenev, E.V. Akimova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 87.
16. *Носов В.В.* Акустико-эмиссионный контроль качества пластически деформируемых заготовок // Дефектоскопия, 2017, Т. 5, С. 36-45.
17. *Носов В.В.* Акустико-эмиссионная диагностика потери устойчивости нагруженных железобетонных балок / В.В. Носов, Х.Ф. Махмудов, А.С. Хотченков // XXIII Петербургские чтения по проблемам прочности, посвященной 100-летию ФТИ им. А.Ф. Иоффе и 110-летию со дня рождения чл.-кор. АН СССР А.В. Степанова, Санкт-Петербург, Россия, 10-12 апреля 2018, Санкт-Петербург, 2018, С. 325.
18. *Носов В.В.* Акустико-эмиссионная диагностика качества металлургического сляба на основе моделирования процесса разрушения и пластической перестройки структуры материала / XXIII Петербургские чтения по проблемам прочности, посвященной 100-летию ФТИ им. А.Ф. Иоффе и 110-летию со дня рождения чл.-кор. АН СССР А.В. Степанова, Санкт-Петербург, Россия, 10-12 апреля 2018, Санкт-Петербург, 2018.

УДК 621. 924. 8

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ И ТОЧНОСТИ ФОРМ ДЕТАЛЕЙ ГРЕБНОГО ВАЛА ЛИНИЙ ВАЛОПРОВОДА МОРСКИХ СУДОВ И ЛЕДОКОЛОВ НА ОСНОВЕ ВИБРОУСТОЙЧИВОЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Грицко Арина Руслановна,
группа ТОА-15,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. Данная статья рассматривает проблему технологического обеспечения заданной шероховатости поверхности деталей гребного вала линий валопровода морских судов и ледоколов на основе снижения уровня вибраций в технологической системе посредством применения анизотропных свойств державок режущего инструмента с повышенными демпфирующими свойствами.

Ключевые слова: резание; пластина; многослойная державка; демпфирующий инструмент; шероховатость; точность формы; анизотропный; гребной вал; линия валопровода; чистовое точение; снижение автоколебаний

TECHNOLOGICAL ASSURANCE OF ROUGHNESS OF SURFACES AND ACCURACY SHAPES OF THE PROPELLER SHAFT OF SHAFTING LINES FOR THE SEA-VESSELS AND ICEBREAKER ON THE BASIS OF VIBRATION-RESISTANT TOOL SISTEM

Gritsko Arina Ruslanovna,
group TOA –15,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. This article deals with the problem of technological assuranse of a set surface roughness of parts of the propeller shaft of shafting lines of ships and icebreakers on the basis of reducing the level of vibrations in the technological system by means of anisotropic properties of cutting tool holders with the raised damping properties.

Keywords: cutting; plate; multilayer holder; damping tool; roughness; accuracy of shape; anisotropic; propeller shaft; shaft line; finishing turning; reduction of self-oscillation

Механизмы, применяемые в устройстве морских судов, как правило, применяются в достаточно агрессивных средах, поэтому они имеют жесткие условия эксплуатации и требования к изготовлениям деталей [1-4]. Опираясь на технические требования деталей гребного вала линий валопровода было установлено, что для соблюдения точности форм и шероховатости поверхностей при чистовом и тонком точении необходимо снизить уровень автоколебаний [5, 7, 9, 10, 15].

Одним из вариантов решения этой проблемы можно выделить систему демпфирующего инструмента. Такой метод основывается на многослойном исполнении и применении анизотропии проката. Благодаря использованию данной схемы инструмента на операциях точения станет возможным снижение высокочастотных колебаний, возникающих в процессе резания, за счет определенного распределения ориентации текстуры деформации анизотропных пластин. Такая державка позволит продуктивно рассеять волновую колебательную энергию на границе перехода между пластинами державки [2, 11, 14].

Изготовление державки предлагаемого демпфирующего инструмента режущего должно выполняться из собранных пластин, плоскости которых должны находиться в контакте между собой. Каждая пластина обладает отличными от остальных физико-математическими и демпфирующими свойствами, что является следствием их различной структуры деформации. Пластины вырезаются из листового и затем собираются в пакет с учетом угла разориентировки текстуры между пластинами [3, 6, 12, 14].

Текстура прокатки в опорной пластине направлена вдоль тангенциальной составляющей силы резания Pz (рис. 1).

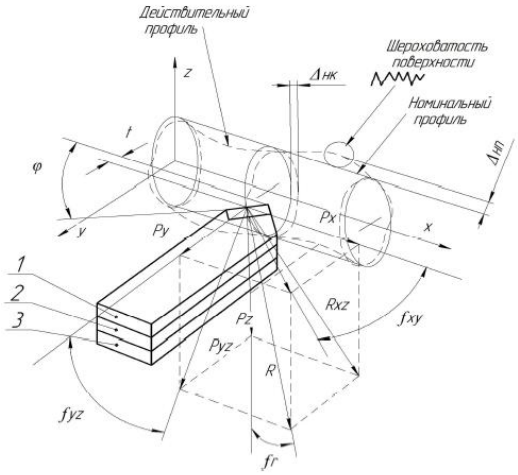


Рис. 1 - Схема резания и направление сил резания, по которым ориентируется текстура пластин державки проходного резца:
x, y, z – направление координат на станке;
ϕ – главный угол в плане; *t* – глубина резания;
Px – осевая сила резания; *Py* – радиальная сила резания; *Pz* – тангенциальная сила резания;
R, Rxz, Ryz – равнодействующие силы резания под углом *fr, fxy, fyz*

В верхней пластине, к которой крепится режущая часть, направление текстуры прокатки ориентировано вдоль радиальной составляющей силы резания *Py*, а плоскость прокатки располагается перпендикулярно тангенциальной составляющей силы резания. Чтобы добиться максимального демпфирующего эффекта, необходимо располагать рядом друг с другом пластины с максимальной разориентацией. В этом случае будет наблюдаться рост коэффициента поглощения и демпфирования колебаний, что приведет к наибольшему гашению колебательной энергии в месте, где волна колебаний

вынуждена будет преодолевать границу раздела пластин.

Для доказательства теоретических данных были проведены эксперименты с обработкой заготовок из стали 45 (НВ 185), которые показали уменьшение уровня автоколебаний при использовании инструмента с многослойной анизотропной державкой по сравнению с цельным резцом в 1,5–2,0 раза, а также снижение уровня вибраций на 35–45% (рис. 2, а, б, с, д).

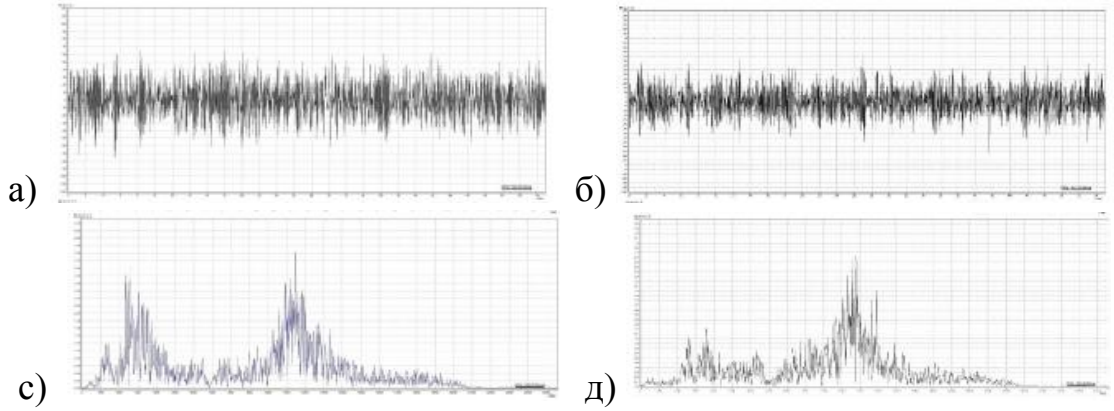


Рис. 2 - Виброграммы (а, б) и амплитудные спектры (с, д) по оси z для резца с цельной державкой (а, с) и для резца с многослойной державкой (б, д)

При анализе показаний отклонений обрабатываемых размеров и форм геометрической точности при использовании резцов, оснащенных демпфирующей державкой, и резцов цельных отметилось значительное уменьшение отклонения от цилиндричности, круглости и прямолинейности формы. Исследования результатов экспериментов в отношении шероховатости поверхностей для предлагаемых резцов выявили повышение качества обработки в 1,7–1,9 раза по сравнению с резцами цельными (рис. 3).

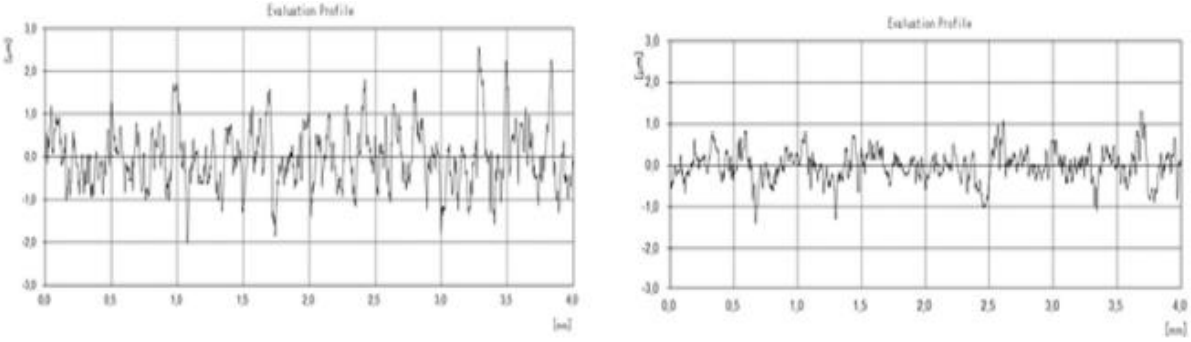


Рис. 3 - Профилограммы шероховатости обработанной поверхности державкой цельной (Ra = 0,546 μm) и резцом с многослойной державкой, обладающей свойствами анизотропии (Ra = 0,287 μm)

Заключение: приведенная выше технология изготовления прецизионных поверхностей деталей гребного вала линий валопровода дает возможность изготавливать детали по 6 квалитету точности (IT6) и соответствующую шероховатость поверхности Ra = 0,22 мкм. В этом случае

возможна замена или устранение операции шлифования, что послужит причиной снижения себестоимости выпуска необходимых деталей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Maksarov V.V.* Dynamic stabilization of machining process based on local metastability in controlled robotic systems of cnc machines / V.V. Maksarov, J. Olt // Journal of Mining Institute, 2017, Vol. 226, C. 446-451.
2. *Maksarov V.V.* Improving the precision of manufacturing power hydraulic cylinders of powered roof supports based on a vibration-damping tooling system / V.V. Maksarov, J. Olt // Journal of Mining Institute, 2015, Vol. 214, C. 71-84.
3. *Maksarov V.V.* Simulation modeling of dynamic characteristics of machining in NI LabView software environment to improve processing technique of a rod component / V.V. Maksarov, A.E. Efimov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 194(2), 022021.
4. *Maksarov V.V.* Studying parameters and quality of thread by optical light field recorder / V.V. Maksarov, V.E. Makhov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 194(6), 062017.
5. *Maksarov V.V.* Quality assurance during milling of precision elements of machines components with ceramic cutting tools / V.V. Maksarov, A.D. Khalimonenko // International Review of Mechanical Engineering, 2018, Vol. 12 (5), C. 437-441.
6. *Maksarov V.V.* Simulation of dynamic processes when machining transition surfaces of stepped shafts / V.V. Maksarov, R.V. Viushin, V.A. Krasnyy // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, Vol. 327, 022047.
7. *Olt J.* Impacts of gradient structure on the dynamic characteristics of machining process system / J. Olt, V.V. Maksarov, A.E. Efimov // 25th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, 2018, C. 190-196.
8. *Bevza V.F.* Use of directional solidification for improving tubular workpiece quality of different cast irons / V.F. Bevza, V.P. Grusha, V.A. Krasnyi // Metallurgist, 2018, Vol. 62, C. 521-531.
9. *Ershov D.Y.* Dynamic processes in technological systems of machining and the nature of their origin / D.Y. Ershov, E.G. Zlotnikov, L.E. Koboyankwe // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 87 (8), 82016.
10. *Халимоненко А.Д.* Точность обработки при точении заготовок режущим инструментом, оснащенным сменными керамическими пластинами / А.Д. Халимоненко, Р.В. Вьюшин // Записки горного института. 2014. Т. 209. С. 99-103.
11. *Максаров В.В.* Влияние структурных параметров режущей керамики на работоспособность инструмента при обработке прецизионных поверхностей деталей горных машин / В.В. Максаров, А.Д. Халимоненко // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2017, Т. 8 (1), С 56-64.

12. *Халимоненко А.Д.* Анализ устойчивости работы многолезвийного инструмента, оснащенного режущей керамикой / А.Д. Халимоненко, Т.С. Голиков // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME-2017. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, 2017, Т. 1, С. 305-308.
13. *Максаров В.В.* Обеспечение качества при фрезеровании режущей керамикой точных элементов узлов и деталей машин / В.В. Максаров, А.Д. Халимоненко // Современное машиностроение. Наука и образование. 2017, № 6, С. 572-582.
14. *Maksarov V.V.* Stability analysis of multipoint tool equipped with metal cutting ceramics / V.V. Maksarov, A.D. Khalimonenko, K.G. Matrenichev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 87, C. 82030.
15. *Тимофеев Д.Ю.* Повышение точности изготовления прецизионных поверхностей детали шток гидроцилиндров / Д.Ю. Тимофеев, А.Е. Ефимов // Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, С. 142-145.

УДК 62-5

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

Гуревич Илья Андреевич,
группа ЭРБ-17,
Санкт-Петербургский горный университет, Электромеханический факультет, кафедра электроэнергетики и электромеханики

Аннотация. В данной работе предлагается модель эффективной системы диагностики электроцентробежных насосов. Рассмотрены уязвимые места в конструкции ЭЦН и эффективные методы обнаружения возможных неисправностей. Процесс эксплуатации предлагается осуществлять под контролем системы, получающей данные от датчиков вибрации, температуры, используемых для диагностики механических составляющих, а также тока и напряжения, которые обрабатываются системой спектрального анализа потребляемого тока. Данные методы диагностики взаимодополняют друг друга и дают наиболее точное описание состояния оборудования. С помощью машинного обучения (data mining) предлагается производить обработку данных и получать информацию о состоянии машины. Это позволяет минимизировать износ деталей и эксплуатировать электроцентробежный насос в безопасных режимах работы в течение максимального безремонтного периода.

Ключевые слова: диагностика; ЭЦН; контроль; управление; машинное обучение; умная система; мониторинг

PRINCIPLES OF CREATIND THE SYSTEM OF DIAGNOSTICS OF ELECTRIC CENTRIFUGAL PUMPS

Gurevich Ilya Andreevich,
group EDA-17,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of electric power engineering and electromechanics

Abstract. In this work, I propose a model of an effective diagnostic system for electric centrifugal pumps. Vulnerabilities in the ESP design and effective methods for detecting possible malfunctions are considered. The operation process is proposed to be carried out under the control of a system that receives data from vibration sensors, temperatures used to diagnose mechanical components, as well as current and voltage, which are processed by the spectral analysis system of the

current consumed. These diagnostic methods complement each other and give the most accurate description of the state of the equipment. With the help of machine learning (data mining) it is proposed to process data and obtain information about the state of the machine. This allows to minimize the wear of parts and to operate the electric centrifugal pump in safe operation modes during the maximum maintenance-free period.

Keywords: diagnostics; ESP; monitoring; control; machine learning; smart system; monitoring

Введение. Электроцентробежные насосы распространены во многих отраслях промышленности. Нефтегазовая промышленность использует их для добычи нефти. В химической промышленности перекачиваются различные жидкости, в том числе и ядохимикаты. Насосы данного типа подвергаются большому числу неблагоприятных и разрушающих факторов, которые плохо сказываются на работоспособности техники. В настоящее время качество и оперативность принимаемых решений во время эксплуатации ЭЦН не находится на желаемом уровне, поэтому необходимы меры по обнаружению отказов различных частей.

Таким образом, актуальной задачей выступает разработка эффективных диагностических систем.

Целью данной работы является создание системы диагностики центробежных насосов и общего подхода к проверке оборудования на работоспособность. Сперва необходимо определить ряд проблем, возникающих во время эксплуатации. Их можно найти в статистических данных об отказах в ЭЦН. Анализ сведений подвел к выводу, что в большинстве случаев неисправности возникают в местах соединения деталей и в изоляции рабочей части. Соответственно, в механизме возникают усилия, способные привести к механическим поломкам фланцев, защитных втулок, износу подшипников, расцентровки вала и повреждению сальников.

Одна из главных проблем - вибрация, создаваемая работой электродвигателя. Основными причинами, вызывающими вибрацию, являются:

1. Вал электродвигателя должен быть отцентрован относительно оси, поскольку, любые отклонения приводят к возникновению излишнего момента инерции, порождающего вибрации в конструкции всей машины. Неосность вала ускоряет износ подшипников и других деталей, способствует откручиванию гаек на корпусе. В итоге, одна неисправность сопровождается появлением целого ряда других проблем.

2. Все центробежные насосы должны вращаться равномерно и без биения. Однако часто в результате кавитации и содержания в перекачиваемой жидкости больших твердых частиц происходят рывки в потоке. Кавитация представляет из себя схлопывание мелких пузырей водяного пара, в результате чего, создается гидроудар, который дает скачок в напоре жидкости. Это явление деструктивно сказывается на работе ЭЦН.

Возникает эрозия рабочего колеса, уплотнительные поверхности интенсивно изнашиваются и преждевременно теряют свои свойства. Появление кавитации связано с падением давления в потоке жидкости.

3. Изношенный подшипник вызывает большие проблемы во время эксплуатации насоса. Общий КПД падает за счет возникновения больших сил трения, происходит сильный нагрев в этой области и велик шанс появления вибраций.

В свою очередь вибрации вызывают механическую усталость материалов, что может привести к разрушению каких-либо запчастей. Из-за вибраций нарушается изоляция. Сальники в обычных центробежных насосах теряют свои свойства и дают течь. Вибрация влияет и на гидрозащиту в добывающих нефть центробежных насосах. От вибраций сильно страдают места крепления функциональных частей.

После определения проблем в ЭЦН, необходимо найти современные методы диагностики. Степень износа подшипников можно выявить по их нагреву. Рядом с ними достаточно поставить чувствительный термодатчик. Повышение температуры сигнализирует о необходимости замены подшипников. Излишнее трение приводит к увеличению потребления электроэнергии из-за увеличения нагрузки. Полная поломка подшипников способна потянуть за собой выход из строя остальные детали электродвигателя.

Расцентровку вала возможно измерить вибродатчиками. Возрастающая нетипичная вибрация насоса и будет сообщать о деформации вала относительно оси. Неравномерность вращения выявляется вибродатчиками. Она проявляется в скачкообразных сигналах. Биения сигнализируют об изменении потока в насосе, неравномерном распределении тока жидкости. Соответственно, необходима регуляция потока жидкости в насос.

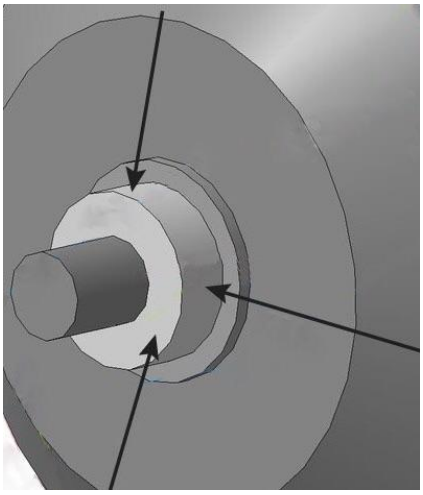


Рис. 1 - Точки крепления датчиков

Исходя из выявленных проблем, определяются необходимые места для диагностики. Каждый из подшипников должен иметь датчик контроля температуры. Вибродатчики должны быть установлены на подшипниках, корпусах подшипников, которые в максимальной степени реагируют на динамические силы и показывают общее состояние машины. Места расположения для крепления на подшипнике представлены на рис. 1. Полноценную оценку состояния дают датчики, расположенные в трех взаимно перпендикулярных плоскостях (рис 2). Место крепления - на верхней части, сбоку или же торцевой части корпуса.

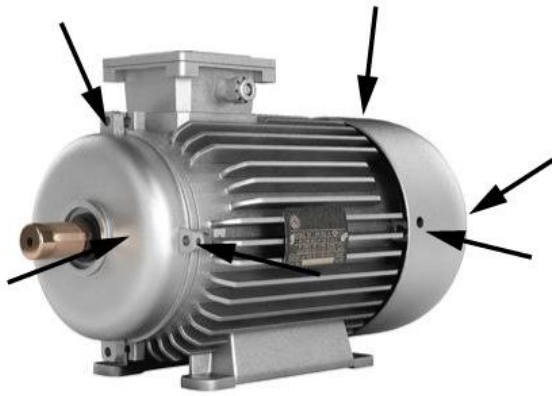


Рис. 2 - Точки крепления датчиков на корпусе на корпусе подшипника

Алгоритм, по которому диагностируется состояние насоса, выглядит следующим образом. Анализ данных осуществляется компьютером. На основе данных производится вывод о состоянии электродвигателя. Необходима и составляющая самообучения диагностической системы. Обучающаяся программа должна научиться выделять особенности сигналов с датчиков и дифференцировать их на конкретные изменения в оборудовании. Данный алгоритм обеспечит наиболее оперативный результат в принятии решения. Справиться с этим заданием способны алгоритмы, относящиеся к «data mining», а именно машинное обучение (machine learning). К ним относятся: «обучение с учителем», «обучение без учителя», «обучение с подкреплением», «байесовская сеть». В дальнейшем на основе этих алгоритмов планируется разработка системы, которая, исходя из собранных данных, научится определять неисправности, сравнивая показатели с уже детерминированными эталонами.

Такой подход будет учитывать индивидуальные особенности каждого ЭЦН, потому что даже насосы одной модели имеют персональные начальные характеристики каждого из параметров.

Чтобы получить наиболее безопасную систему, необходимо совместить подачу жидкости в насос, его загрузку по мощности и диагностику в единое целое для обеспечения автоматизированного контроля и устранения субъективного человеческого фактора в эксплуатации оборудования. Такой метод управления ликвидирует издержки, связанные с изменениями режима работы ЭЦН, и при отказе одного из параметров отключит рабочий агрегат, чтобы окончательно не вывести его из строя.

Спектральный анализ потребляемого тока дает информацию по многим параметрам насоса. Физический принцип, который лежит в основе этого метода, такой: любые возмущения в работе электрической или механической части электродвигателя (электрогенератора) и связанного с ним устройства приводят к изменениям магнитного потока в зазоре электрической машины, а значит — к слабой модуляции потребляемого (вырабатываемого) электрической машиной тока. Наличие в спектре тока электрической машины характерных частот определённой величины говорит о присутствии повреждений электрической или механической части электродвигателя (электрогенератора). Гармоники, кратные частоте питающего тока, указывают на проблемы в электрической части. Гармоники, кратные оборотной частоте вращения двигателя, — это проблемы в механической части.

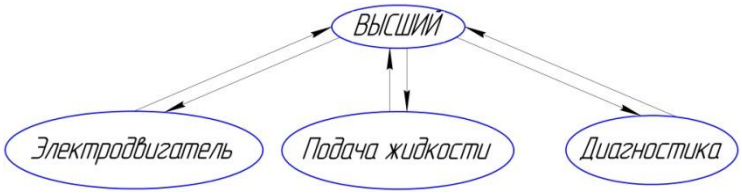


Рис. 3 - Система диагностики

В работе определены возникающие проблемы в ЭЦН.

Найдены современные методы диагностики отказов, и сформулированы общие принципы их работы. Построена комплексная система, имеющая несколько уровней диагностики и образующая единую связанную систему. Она способна ограничивать подачу жидкости в насос, регулировать мощности работы и контролировать физические параметры. Состоит система из нескольких уровней, где каждый связан с общим, выполняющим работу по обобщению данных. В зависимости от полученных данных, высший подуровень дает команды низшим. Например, появились нетривиальные возросшие вибрации. Сигнал поступил от уровня «диагностика». После обработки сигнала система направит команду о снижении выделяемой мощности на уровень «электродвигатель» и команду о понижении напора на уровень «подача жидкости». Всего 4 уровня: «Высший», «диагностика», «электродвигатель», «подача жидкости» (рис. 3).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kovalchuk M.S.* Diagnosis of Electric Submersible Centrifugal Pump / M.S. Kovalchuk, D.A. Poddubniy // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 115, С. 1-6.
2. *Kovalchuk M.S.* Modelling and control system of multi motor conveyor / M.S. Kovalchuk, S.V. Baburin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, Vol. 327, С. 1-6.
3. *Cheremushkina M.S.* Reducing The Risk Of Fires In Conveyor Transport / M.S. Cheremushkina, D.A. Poddubniy // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 50, С. 1-6.
4. *Cheremushkina M.S.* Modelling and control algorithms of the cross conveyors line with multiengine variable speed drives / M.S. Cheremushkina, S.V. Baburin // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2017, Vol. 177, С. 1-7.
5. *Kovalchuk M.S.* Developing the System of Monitoring and Diagnostics to Increase the Availability of Equipment / M.S. Kovalchuk, A.N. Skamyin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 66, С. 2-8.
6. *Poddubniy D.A.* Noncontact speed sensor for maintaining the autoresonant operating mode of the oscillating electric motor drive / D.A. Poddubniy, E.A. Zagrivniy, M.S. Kovalchuk // 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus, 2019, Т. 1, С. 740-743.
7. *Kovalchuk M.S.* Energy eficiency improving of reactive power compensation devices / M.S. Kovalchuk, A.N. Skam'in // 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), 2018, Т. 1, С. 1-4.

8. *Kovalchuk M.S.* Analysis of power supply systems reliability for gas pumping compressor stations / M.S. Kovalchuk, S.V. Baburin // 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), 2018, Т. 1, С. 566-569.
9. *Ковальчук М.С.* Диагностика погружных электроцентробежных насосов / М.С. Ковальчук, С.С. Иванов. – СПб., С. 3-4.
10. *Носов В.В.* Диагностика машин и оборудования: Учебное пособие / СПб., 2012. – 384 с.
11. *Костюков В.Н.* Мониторинг технического состояния оборудования в реальном времени / В.Н. Костюков, А.В. Костюков // Eurasia Processing, 2004, Vol. 1, С. 2-7.
12. *Белов М.П.* Автоматизированный электропривод производственных механизмов и технологических комплексов / М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов. – М., 2007. – 576 с.
13. *Флах П.* Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных. - М., 2015, 400 с.
14. *Ильясов Б.Г.* Интеллектуальная автоматизированная система управления установкой электроцентробежного насоса / Б.Г. Ильясов, А.В. Комелин, К.Ф. Тагирова // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета, 2007, Т. 9(2), С. 58-70.
15. *Седунин А.М.* Контроль технического состояния асинхронных двигателей на основе спектрального анализа потребляемого тока / А.М. Седунин, Д.О. Афанасьев, Л.Г. Сидельников. – Пермь: ООО «ТестСервис», Пермский государственный технический университет, С. 1-8.

УДК 621.793

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДИФФУЗИОННОГО НАСЫЩЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ РАСПЛАВОВ ЛЕГКОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ

Джаббаров Шахаддин Нураддинович,
аспирант,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра МиТХИ

Аннотация. В статье рассмотрены современные способы повышения коррозионной и износостойкости деталей машин методом диффузионного насыщения из среды легкоплавких расплавов. Составлен обзор на работы, в которых проводились исследования по многокомпонентному диффузионному насыщению стальных образцов, в том числе тугоплавкими металлами. Результаты исследуемых работ войдут в основу к формированию покрытия с повышенной стойкостью к коррозии и прочностью поверхностного слоя.

Ключевые слова: диффузионное насыщение; покрытие; коррозия; коррозионная стойкость

USING THE TECHNOLOGY OF DIFFUSION SATURATION OF THE SURFACE OF PRODUCTS FROM MELTS OF LOW-MELTING METALS

Dzhabbarov Shahaddin,
postgraduate student,
Saint-Petersburg mining university,
Department of Materials science

Abstract. The article discusses modern methods of increasing the corrosion and wear resistance of machine parts by the method of diffusion saturation from the environment of fusible melts. A review of ongoing studies on the multicomponent diffusion saturation of steel samples, including refractory metals. Research results suggest that the basis of the layers with high corrosion resistance and strength of the surface layer.

Keywords: diffusion saturation; coating; corrosion; corrosion resistance

В добыче и переработке нефтепродуктов одной из важных проблем стоит коррозия металла комплексов подземного оборудования.

Износ оборудования является одним из значительных факторов опасности, влияющих на состояние промышленной безопасности, сопровождающимся разливами нефти, взрывами и разрушениями [1].

При работе изделий в экстремальных условиях традиционные методы поверхностного упрочнения (механические и термические) малоприемлемы. Наиболее перспективной технологией, обеспечивающей возможность одновременного повышения износостойкости, коррозионной и коррозионно-механической стойкости, является технология диффузионного насыщения из среды легкоплавких жидкометаллических расплавов. Данная технология является промышленнореализуемой и относительно малозатратной.

С целью подбора многокомпонентного диффузионного покрытия требуемого состава было исследовано большое количество работ, литературных источников, авторских свидетельств. Анализ авторских свидетельств, приведенных в табл. 1, свидетельствует об увеличении интереса к диффузионным износостойким и коррозионностойким многокомпонентным покрытиям [2].

Таблица 1

Распределение изобретений в области химико-термической обработки

Характер изобретений процесс (ХТО)	Ед. измерения	Агрегатное состояние насыщающей среды					
		газ	Жидкость			Твердая фаза	Паста
			без электролиза	с электролизом	всего		
Многокомпонентная ХТО							
Нитроцементация	шт.	39	22	2	24	4	4
Бор + легирующий элемент (ы)	шт.	2	6	13	19	74	23
Хром + легирующий элемент (ы)	шт.	5	10	1	11	96	6
Прочие процессы ХТО	шт.	51	40	4	44	78	15
Итого	шт.*	97 20	78 16	19 4	98 20	252 51	48 9

*Соответственно доля от многокомпонентной ХТО.

В работе [3] изложены основные результаты химико-термической обработки конструкционных сталей в среде растворов тугоплавких металлов в легкоплавких металлах с целью нанесения защитных коррозионностойких покрытий. Объектом исследования являлись стали: Ст3кп, сталь 20, сталь 45, У7, 30ХГСА, 08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т с покрытиями Ni, Ni-Cu и Ni-Cr, нанесенными из расплавов Pb, Pb-Bi, Pb-Sn, Pb-Li. Оценивалась коррозионная стойкость исследуемых сталей в нейтральных и щелочных средах (табл. 2).

В работе [4] рассмотрен механизм формирования диффузионного слоя на стальных и чугунных деталях при их насыщении карбидообразующими элементами. Показаны пути интенсификации роста линейных размеров деталей. Представлен механизм образования диффузионного и наращиваемого слоев (рис. 1).

В ходе выполнения данной работы установлено, что основными факторами, влияющими на величину приращения линейных размеров, являются: параметры кристаллических решеток насыщающих элементов и

образующихся химических соединений (карбидов, нитридов, интерметаллидов), а также наличие углерода и его активность. Созданная модель роста линейных размеров раскрывает механизм формирования диффузионного слоя при насыщении стальных и чугунных деталей карбидообразующими элементами и позволяет прогнозировать величину приращения линейных размеров, а также пути интенсификации диффузионного процесса.

Таблица 2

Коррозионная стойкость сталей без покрытий и с покрытием Ni в нейтральных и щелочных средах

Марка стали	Скорость коррозии в среде испытания 20 °С, 2550 ч					
	H_2O		10 % КОН		40 % КОН	
	г/(м^2·ч)	мм/год	г/(м^2·ч)	мм/год	г/(м^2·ч)	мм/год
Ст3кп без покрытия	0,1298	0,1455	0,0051	0,0057	0,0127	0,0142
Ст3кп с покрытием	0,0003	0,0003	0,0011	0,0011	0	0
45 без покрытия	0,135	0,1514	0,0136	0,0152	0,0211	0,0236
45 с покрытием	0,0008	0,0008	0	0	0,0001	0,0001
У7 без покрытия	0,1266	0,1419	0,0074	0,0023	0,0148	0,0166
У7 с покрытием	0,003	0,003	0,0002	0,0002	0,0022	0,0022
12Х18Н10Т без покрытия	0,0001	0,0001	0,0003	0,0003	0,0001	0,0001

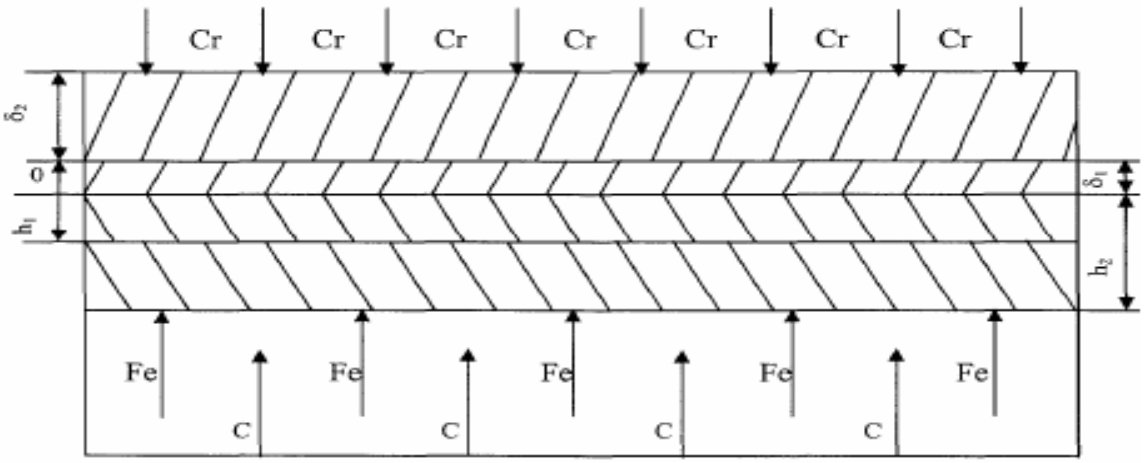


Рис. 1 - Схема образования диффузионного слоя

Выводы:

В ходе анализа представленных работ установлено, что используемые способы нанесения диффузионных покрытий имеют достаточную теоретическую базу для создания на основе данных исследований новых составов покрытий с увеличением компонентов покрытия. С целью увеличения прочности поверхностных слоев представляется возможным добавление титана в уже исследованные составы покрытий, однако

необходимы и важны дальнейшие исследования в части многокомпонентности диффузионных покрытий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Джаббаров Ш.Н.* Способы защиты от коррозии оборудования по добыче нефти и газа методом диффузионного покрытия металлами / Ш.Н. Джаббаров, Е.И. Пряхин // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME-2017. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, 2017, С. 326-329.
2. *Ворошнин Л.Г.* Изобретательская работа в области химико-термической обработки металлов / Л.Г. Ворошнин, Г.Ф. Протасевич / МиТОМ, 1988, Т. 5, С. 15-18.
3. *Сивенков А.В.* Химико-термическая обработка сталей в среде легкоплавких растворов // Записки горного института, 2014, Т. 209, С. 244-248.
4. *Ильин В.К.* Повышение надежности деталей мобильных энергомашин методами диффузионной металлизации / «Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ», 2003, Т. 11-12, С. 118-123.
5. *Dzhabbarov S.N.* Research regarding heat treatment influence on properties of chromic-manganese steel with quenching in polymer solution with purpose of matching drill-stem subs / S.N. Dzhabbarov, E.I. Pryakhin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 87(9), 092009.
6. *Солнцев Ю.П.* Материаловедение: Учебное пособие / Ю.П. Солнцев, Е.И. Пряхин. - СПб.: Химиздат, 2014. - 784 с.

УДК 622.331; 622.271.9

СОВМЕЩЕНИЕ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ШТАБЕЛИРОВАНИИ ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ

Джафаров Камал Азимович,
аспирант,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. В статье рассмотрена задача, направленная на решение штабелирования торфяного сырья и выбора параметров универсального, многофункционального уборочного оборудования. Щеточный полунавесной подборщик метатель устанавливается на торфяной фронтальный погрузчик Амкодор 342Р для сбора торфяного сырья из толстого расстила и последующего отбрасывания его в штабель.

Ключевые слова: фрезерное торфяное сырье; уборка; штабелирование; щеточный роторный метатель; рабочий цикл

THE COMBINATION OF THE OPERATIONS FOR STACKING OF RAW PEAT

Dzhafarov Kamal Azimovich,
postgraduate student ,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. The article deals with the problem aimed at solving the stacking of peat raw materials and the choice of parameters of universal, multifunctional harvesting equipment. Brush-end baler thrower installs on the peat front loader Amkodor 342P for the collection of raw peat thick distance and the subsequent discarding it in a pile.

Keywords: milling peat raw materials; harvesting; stacking; brush rotary thrower; duty cycle

Одна из тенденций развития торфяной техники – модульное ее построение, что связано с повышением эффективности, прежде всего за счет расширенных функциональных возможностей мобильных универсальных агрегатов, соблюдения принципов агрегатирования и усовершенствования конструктивных параметров навесного сменного рабочего оборудования [4].

Формирование производственной программы на торфяных карьерах осуществляется с учётом горно-геологических и горнотехнических условий, эксплуатационных возможностей оборудования и других факторов, которые

в той или иной мере влияют на её выполнение. Основными преимуществами щеточных торфяных машин по сравнению с существующими комплексами оборудования являются: высокая производительность, снижение вероятности поломки эластичных рабочих органов при встрече с древесными включениями или камнями [1].

В настоящее время актуален вопрос повышения эффективности добычи торфяного сырья для топливного и агропромышленного использования. Применительно к карьерному способу добычи торфяного сырья указанная проблема приобретает важное значение в связи с оценкой эффективности работы технологических устройств по уборке торфяного сырья в штабели.

Формирование нового направления совершенствования конструкций машин, базирующееся на совмещении функций различных механизмов является перспективным, т.к. предлагаемые решения приводят к снижению металлоёмкости машины, а, следовательно, к снижению удельных энергозатрат на перемещение машины и повышению эффективности выполнения операций.

С этой целью разрабатывается универсальное многофункциональное уборочное оборудование торфяного сырья с эластичным щеточным рабочим органом. Основная задача уборки в штабель слоя подсушенного торфяного сырья состоит в сборе материала из толстого расстила и укладке в штабель методом отбрасывания.

Вариант применения роторно-лопастного щеточного метателя в составе многофункционального уборочного оборудования для штабелирования торфяного сырья рассматривается в качестве сменного полунавесного рабочего оборудования к торфяному фронтальному погрузчику Амкодор 342Р.

Шнеко-роторное уборочное оборудование предназначено для уборки фрезерного торфяного сырья из растила путём его сдвигания к ротору, роторного разгона материала и перемещения его по баллистической траектории в штабель.

Принцип многофункциональности – использование полунавесного оборудования позволяет использовать один базовый тягово-энергетический модуль для решения ряда последовательности технологических операций. Одним из наиболее эффективных способов снижения трудоемкости производства торфяной продукции является совмещение технологических операций для одновременного выполнения их за один проход машинно-тракторного агрегата (захват и отбрасывание материала) [3].

Актуальной задачей является повышение эффективности непрерывного процесса отбрасывания торфяного сырья в штабель, что может быть достигнуто при обоснованном выборе рациональных основных конструктивных и эксплуатационных параметров эластичного метателя при карьерной добыче торфяного сырья.

Основным возмущающим фактором, влияющим на функционирование уборочного оборудования, является неравномерность загрузки расстила торфяным сырьем. Безусловным достоинством щеточного рабочего органа

является устойчивость эластичной щетки при взаимодействии с твердыми включениями в торфяном сырье (камни, древесные включения). Физико-механические и размерно-массовые параметры торфяного сырья определяют жесткость щеточного рабочего органа для выбора эффективного процесса.

Одной из задач исследования является разработка математической модели четвертой координаты (продолжительности) рабочего процесса системы, что позволяет получить оптимальные исходные технико-эксплуатационные параметры проектируемой машины в зависимости от условий эксплуатации.

Математическая модель времени рабочего цикла, разработанная проф. Баловневым В.И., определяется суммой времени отдельных технологических операций рабочего процесса машины. Четвертая координата $t_с$ (продолжительность) рабочего цикла является обобщенной. Она является функцией энергетических и эксплуатационных параметров машины. Ротор щеточного метателя выполняет две операции: резание и бросковое транспортирование торфяного сырья. Лопасти ротора отделяют (срезают) порцию торфяного сырья от навала, поступающего в ротор, и транспортируют его в штабель на расстояние в пределах 15 м. Эти операции являются совмещенными.

Для обеспечения броскового транспортирования торфяного сырья ротор работает с повышенной частотой вращения. В торфяном сырье часто встречаются твердые древесные включения. В трансмиссии привода ротора появляются значительные динамические нагрузки. Этот фактор учитывается установкой эластичных щеточных лопастей.

Основное условие совмещения операций лопастного метателя определяется:

$$t_{зах} \leq t_{отб},$$

где $t_{зах}$ – продолжительность захвата-резания торфяного сырья лопастью ротора, с; $t_{отб}$ – продолжительность отбрасывания порции материала лопастью ротора, с.

На основании соотношения работы сил сопротивления отделению торфяного сырья от навала и энергии, затрачиваемой на отделение (резание) торфа получаем математическую модель совмещения операций функционирования ротора при захвате и транспортировании порции торфяного сырья:

$$t_c = \frac{k_{уд} D_p^2 h k_л}{M_p \omega_p} = \frac{2M_p}{N_p},$$

где $k_{уд}$ – удельное сопротивление внедрению лопасти ротора в торфяное сырье, поступающее в ротор ($k_{уд}$ =0,003 МПа); $D_р$ – диаметр ротора, м; h – подача, м; $M_р$ – крутящий момент на валу ротора, Нм; $\omega_р$ – частота вращения

ротора, $с^{-1}$; $N_р$ – мощность привода, Вт; м $k_л$ – безразмерный коэффициент, учитывающий использование рабочей длины лопасти ротора, ($k_л$ = 0,7…0,8).

Материал, поступающий на лопасть ротора, уже разрыхлен шнеком и имеет пониженное сопротивление резанию $k_{уд.р}$ = 0,8…0,9 $k_{уд.с}$, где $k_{уд.с}$ – удельное сопротивление слоя торфяного сырья в толстом расстиле на поверхности поля.

Из анализа полученной модели следует, что продолжительность захвата торфяного сырья лопастью сокращается с ростом крутящего момента, а продолжительность перемещения материала по обечайке ротора – наоборот увеличивается.

Продолжительность времени рабочего цикла щеточного метателя следует рассматривать в качестве обобщенного показателя технико-эксплуатационной эффективности шнеко-роторной машины в соответствующих условиях эксплуатации [2].

Математическая модель четвертой координаты (времени) рабочего процесса в своем дальнейшем совершенствовании требует развития и уточнения исходных силовых и энергетических зависимостей и коэффициентов условий эксплуатации. Это обеспечит повышение точности расчетов по рабочему органу на этапе проектирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Михайлов А.В.* Формирование и эффективное использование машинного парка торфодобывающих компаний / А.В. Михайлов, С.Л. Иванов, В.В. Габов // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело, 2015, Т. 14, С. 82-91.
2. *Баловнев В.И.* Коммунальная техника. - М.: Машиностроение, 2002. – 176 с.
3. *Баловнев В.И.* Определение оптимальных параметров и выбор дорожно-строительных машин методом анализа четвертой координаты. Учебное пособие. - М.: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2014. - 180 с.
4. *Баловнев В.И.* Оптимизация и выбор инновационных систем и процессов транспортно-технологических машин. - М.: Техполиграфцентр, 2014. - 320 с.
5. *Михайлов А.В.* Масштаб торфяного производства и комплектование оборудованием / Сборник трудов Международной научно-техн. конференции «Процессы и средства добычи и переработки полезных ископаемых». Минск, 2012, С. 63-67.
6. *Mikhailov A.V.* Mechanization of extraction of peat from undrained deposit / A.V. Mikhailov, E.A. Kremcheev, D.O. Nagornov // Journal of Mining Institute, Vol. 196, С. 256-260.
7. *Mikhailov A.* Peat surface mining methods and equipment selection. Mine Planning and Equipment Selection / Proceedings of the 22nd MPES Conference, Dresden, Germany, 14th – 19th October 2013. Drebenstedt, Carsten, Singhal, Raj (Eds.), 2014, Vol. 2, С. 1243-1249.

8. *Mikhailov A.V. et al.* Excavating and loading equipment for peat mining / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 87, 022014.
9. Технология и комплексная механизация разработки торфяных месторождений / А.Е. Афанасьев, Л.М. Малков, В.И. Смирнов [и др.]. – М.: Недра, 1987. - 311 с.
10. *Михайлов А.В.* Перспективы развития новых технологий добычи торфа / А.В. Михайлов, Э.А. Кремчеев, А.В. Большунов, Д.О. Нагорнов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2010, Т. 9, С. 189-194.
11. *Михайлов А.В.* Торфяные ресурсы Северо-западного федерального округа России и перспективы их освоения / А.В. Михайлов, С.Л. Иванов, А.В. Большунов, Э.А. Кремчеев // Записки Горного института, 2013, Т. 2, С. 226-230.
12. Торфяные машины и комплексы / С.Г. Солопов, Л.О. Горцакалян, Л.Н. Самсонов, В.И. Цветков. – М.: Недра, 1981. – 416 с.
13. *Афанасьев А.Е.* Технология и комплексная механизация разработки торфяных месторождений: учебное пособие для вузов / А.Е. Афанасьев, Л.М. Малков, В.И. Смирнов [и др.]. - М.: Недра, 1987. - 311 с.
14. *Михайлов А.В.* Ширина захвата щеточного подборщика торфа / А.В. Михайлов, К.А. Джафаров // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2017, Т. 5, С. 153-156.
15. *Михайлов А.В.* Обоснование параметров шнеко-роторного метателя для штабелирования фрезерного торфа / А.В. Михайлов, К.А. Джафаров // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2018, Т. 7, С. 168-173.

УДК 62-529

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Дмитриев Денис Юрьевич,
группа ГТС-14,
Санкт-Петербургский горный университет

Аннотация. Увеличение эффективности использования транспортных машин в горной промышленности возможно при внедрении дистанционных и автоматических систем управления. Использование таких технологий позволяет так же исключить опасное воздействие на жизнь и здоровье человека и повысить технику безопасности рабочих мест.

Ключевые слова: дистанционное управление; телеметрия; автоматизация; автотранспорт

AUTOMATION OF MINING ENTERPRISE TRANSPORT SYSTEMS

Dmitriev Denis Yurievich,
group GTS-14,
Saint-Petersburg Mining University

Abstract. Increasing the efficiency of using transport vehicles in the mining industry is possible with the introduction of remote and automatic control systems. The use of such technologies allows you to also remove a person from places with high harmfulness.

Keywords: remote control; telemetry; automation; motor transport

В последнее время появление и использование автоматизированных транспортных систем растет, так, например, в карьере Бингам Каньон (США) и руднике Кади-Риджуэй (Австралия), процент их использования на сегодняшний момент лидирующий. Статистика их внедрения показывает: увеличение производительности до 30 %, увеличение коэффициента использования до 50 %, уменьшение внеплановых простоев до 10%. и пр.

Развитие подземных и открытых горных работ в XXI в. характеризуется:

- разработкой более сложных и менее богатых месторождений полезных ископаемых, что увеличивает их себестоимость;
- использованием большого спектра машин для добычи и транспортировки полезных ископаемых, имеющих высокую стоимость;

- ужесточением требований в сфере экологии промышленного производства [1].

Данные особенности приводят к поиску способов удешевления добычи полезных ископаемых, одним из наиболее перспективных способов является внедрение автоматических (дистанционных) систем управления.

Автоматизация имеет не только экономическое, но и большое социальное значение, освобождая рабочих от тяжелых, вредных и опасных работ. Эффективность автоматизации и робототехники определяется следующими факторами:

- повышение эксплуатационной производительности машин и оборудования за счет увеличения коэффициента использования;
- снижение затрат за счет сокращения числа рабочих, обслуживающих машины;
- улучшение условий труда и безопасности за счет выполнения трудных и опасных операций средствами автоматизации и робототехники, автоматического контроля процесса и состояния горно-транспортной техники;
- более длительные сроки службы и межремонтные циклы машин и оборудования в результате создания оптимальных условий для их работы и уменьшения аварийных ситуаций;
- снижение потребления энергии и материалов на единицу продукции в результате повышения эффективности [2].

Многие компании занимаются продвижением данной технологии, как производители самих машин, так и сторонние организации, разрабатывающие именно такие системы. В основном у всех компаний представлено 4 стадии развития данной технологии:

1) Система дистанционного управления оборудованием в пределах прямой видимости (Радио). Преимущества: повышение производительности, значительная универсальность применения повышение безопасности работ. Недостатком является то, что человек должен находится достаточно близко к транспортной машине, и необходимо значительное обучение;

2) Система телематического управления оборудованием (Видео). Преимущества: большее повышение производительности, значительная универсальность применения, существенное повышение безопасности работ, уменьшение вредности рабочего места. Недостатки: возможность воздействия помех на сигнал и необходимость значительного обучения персонала;

3) Система полуавтоматического управления. Достоинства: минимальное обучение персонала, существенное повышение производительности, уменьшение риска повреждения техники. Из минусов можно отметить удорожание технологии, и уменьшение надежности за счет введения дополнительных систем;

4) Полностью автоматизированная система управления проходкой. Достоинства и недостатки схожи с системой полуавтоматического управления [3].

Внедрение технологии в горнотранспортном комплексе угольного разреза «Восточный» (Экибастузский район, Республика Казахстан) позволило увеличить производительность труда на предприятии на 10–23 %, снижение на 90 % сбора информации о функционировании транспортного оборудования, увеличена на 2 % пропускная способность дорог и исключены простои оборудования и персонала по техническим причинам [4].

Применение систем управления в совокупности с внедрением систем мониторинга и диагностики позволит увеличить надежность работы транспортных систем [5], а развитие цифровых технологий способствует тому, что данные системы развиваются очень быстро, благодаря чему себестоимость их уменьшается, а точность и надежность их работы увеличивается. Через несколько лет такие системы будут использоваться повсеместно в разных вариациях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трубецкой К.Н. Современные системы управления горно-транспортными комплексами / К.Н. Трубецкой, А.А. Кулешов, А.Ф. Клебанов, Д.Я. Владимиров. Под редакцией акад. РАН К.Н. Трубецкого. - СПб.: Наука, 2007. - 306 с.
2. Добронравов С.С. Строительные машины и основы автоматизации / С.С. Добронравов, В.Г. Дронов. - М.: Высш. школа, 2003. - 575 с.
3. Этапы эволюции систем автоматизации и управления оборудованием для подземных горных работ. https://rct-global.com/wp-content/uploads/2015/11/ControlMaster_SolutionEvolution_SBBK_v10_RU_LRes.pdf
4. Арипходжаев Н.Э. Преимущества внедрения автоматизированной системы оперативно-диспетчерского управления горнотранспортным комплексом / Н.Э. Арипходжаев, В.Г. Токарев, В.В. Привалов, С.А. Маргарян // Control Engineering, 2013, С. 67-69
5. Maharatkin P.N. / P.N. Maharatkin, I.N. Yablokov, S.L. Serzhan // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 87(2), 022013.

УДК 389.14

АНАЛИЗ ЭТАЛОННОЙ БАЗЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Дранова Алина Юрьевна,
группа МО-16,
Санкт-Петербургский горный
университет

Аннотация. За последние пять лет произошло качественное и количественное изменение научных и практических задач, стоящих перед специалистами, работающими в области измерения электрического сопротивления. С одной стороны, усложнился состав единичного метрологического оборудования, с другой - возросла общая потребность в обеспечении комплексами аппаратуры, работающими в автономном режиме. Актуальным становится не только создание единичного эталонного оборудования, но и создание систем, функционирование которых и решает задачу технического совершенствования средств и методов измерений и контроля, повышения их качества и эффективности.
В ходе работы была рассмотрена эталонная база единицы электрического сопротивления (Ом), проанализирована динамика изменений количества утвержденных эталонов за последние 5 лет, а также изменения межаттестационного интервала и разрядов эталона, предложены перспективы развития по модернизации ГПЭ сопротивления.

Ключевые слова: эталон; эталонная база; электрическое сопротивление; квантовый эффект Холла

ANALYSIS OF THE REFERENCE BASE AND PROSPECTS FOR THE MODERNIZATION OF MEASUREMENTS OF ELECTRICAL RESISTANCE

Dranova Alina Yuryevna,
group MO-16,
Saint-Petersburg Mining University

Abstract. Over the past five years, there has been a qualitative and quantitative change in the scientific and practical tasks facing specialists working in the field of measuring electrical resistance. The overall need for integrated equipment operating offline. Actual becomes not only the creation of a single reference equipment, but also the creation of systems, the functioning of which solves the problem of technical improvement of means and methods of measurement and control, improving their quality and effectiveness.
During the work, the reference base of the unit of electrical resistance - Ohm was

reviewed, the dynamics of changes in the number of approved standards over the past 5 years, as well as changes in the inter-attestation interval and the standard discharges were analyzed.

Keywords: standard, reference base; electrical resistance; Quantum Hall effect

По состоянию по состоянию на март 2019 года эталонная база РФ насчитывает 164 государственных первичных эталонов (ГПЭ) и более 90 тыс. утвержденных эталонов. Поскольку государственные эталоны служат для воспроизведения физических величин, структура эталонной базы соответствует структуре единиц СИ. Основа этой базы — эталоны основных единиц СИ. Наряду с основными единицами СИ в состав эталонной базы России входят эталоны производных единиц. В настоящее время в России существуют эталоны всех основных единиц, кроме эталона единицы количества вещества (моль). Основные единицы СИ - это: единица времени – секунда, длины – метр, массы – килограмм, постоянного тока – ампер, термодинамической температуры – кельвин, количества вещества – моль и силы света – кандела.

ГПЭ Российской Федерации находятся в Национальных Метрологических Институтах – Институтах-хранителях: ВНИИМ, ВНИИОФИ, ВНИИМС, ВНИИФТРИ, ВНИИР, УНИИМ, СНИИМ (рис. 1) Крупнейшие из них: Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева (ФГУП ВНИИМ) и Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений (ФГУП ВНИИФТРИ). Во ВНИИМ хранится 55.

Большое всего ГПЭ относится к измерительной области Электричество и Магнетизм.

Для измерения электрического сопротивления, на данный момент, существует один государственный первичный эталон - ГПЭ единицы электрического сопротивления гэт14-2014, хранящейся в ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева».

Рис. 1 - Состав ГПЭ ГЭТ 14-2014

По состоянию на апрель 2019 года, в Федеральном информационном фонде по ОЕИ содержится информация примерно о 15 тысячах эталонов измерения электрического сопротивления различных номиналов и классов точности.

В 2014 году утверждены 1742 эталонов электрического сопротивления.

В 2015 году утверждены 2023 эталонов электрического сопротивления

В 2016 году утверждены 1597 эталонов электрического сопротивления.

В 2017 году утверждены 1223 эталонов электрического сопротивления

В 2018 году утверждены 1806 эталонов электрического сопротивления.

Количество утвержденных эталонов за последние 5 лет представлены на рис. 2.

Рис. 2 - Количество утвержденных эталонов по годам (построено автором)

Выводы:

Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод, что по сравнению с 2014 годом в настоящее время наблюдается активный рост количества утвержденных эталонов. По графику видно, что пиковое значение приходится на 2015 год, что может являться последствием усовершенствования ГПЭ в 2014 году.

Вывод: Проведя анализ по межаттестационному (рис. 3) интервалу можно прийти к выводу, что в 2014 году у большинства эталонов интервал равен 12 месяцам, а к 2018 году ситуация значительно не изменилась.

Анализ эталонов по разрядам приведен на рис. 4.

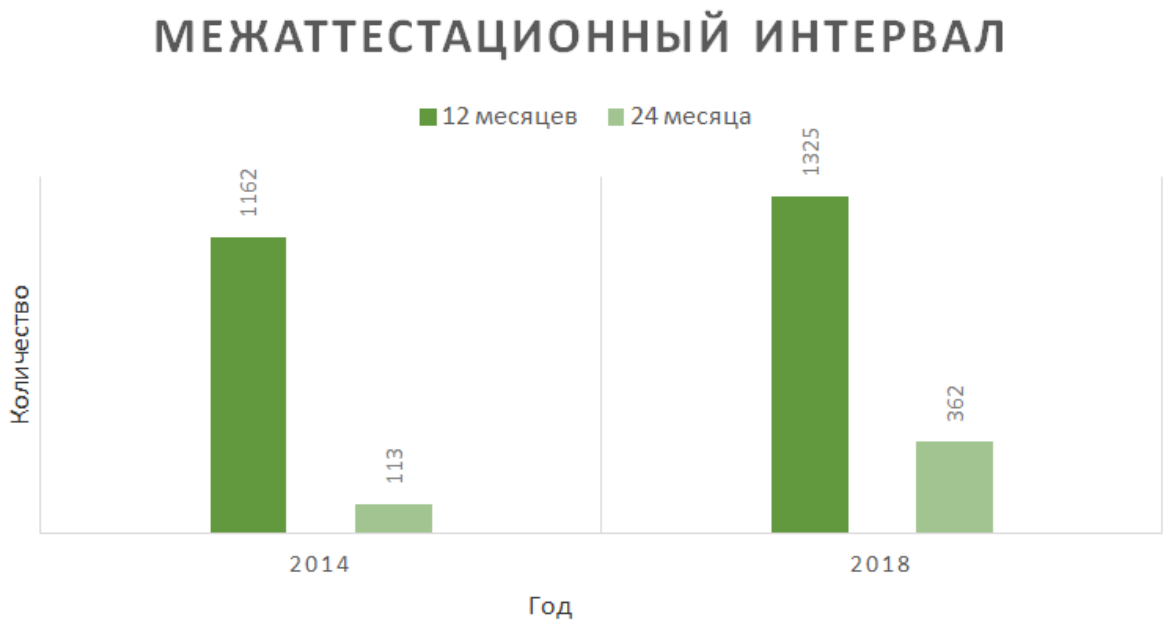


Рис. 3 - Анализ эталонов по межаттестационному интервалу (построено автором)

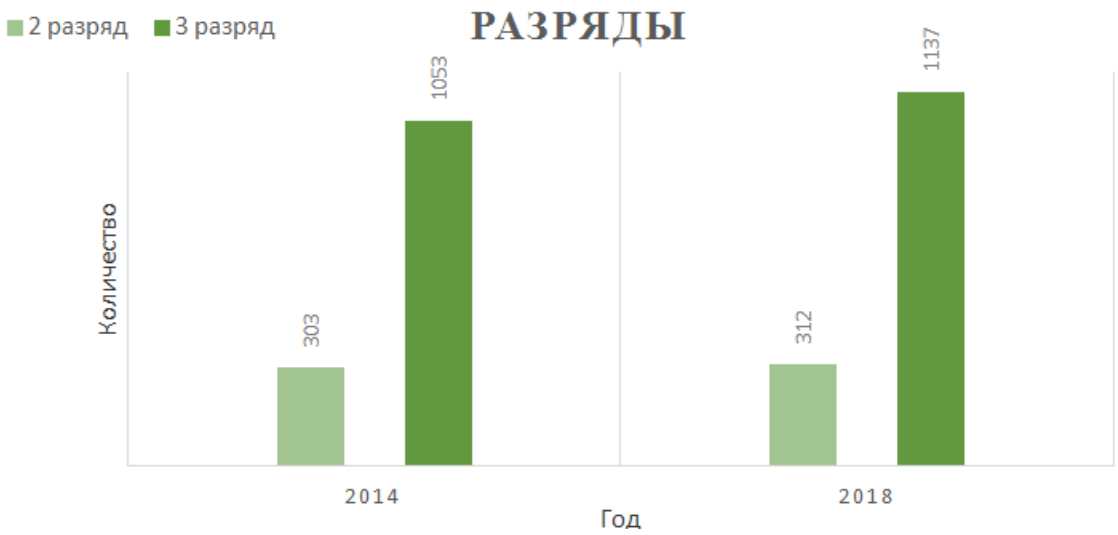


Рис. 4 - Анализ эталонов по разрядам (построено автором)

Вывод: Проанализировав эталон по разрядам, можно сделать вывод, что больше всего было утверждено эталонов третьего разряда (не рассматривая эталоны без разряда).

Заключение.

Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод, что важность и востребованность единицы электрического сопротивления неуклонно возрастает.

Эталон успешно используется в авиакосмической промышленности; оборонно-промышленной комплексе; судостроении; электроэнергетике; атомной энергетике; машиностроении; электронной промышленности.

Планируется модернизация ГПЭ.

Перспективы развития:
- Создание ГПЭ с использованием КСХ на переменном токе,
- Расширение частотного диапазона до 10 МГц,
- Развитие высокоомной области измерений до 10^{16} Ом,
- Развитие измерений в область до 10^{-9} Ом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сергеев А.Г.* Метрология: Учеб. пособие для вузов / А.Г. Сергеев, В.В. Крохин. - М.:Логос, 2001.
2. Распоряжение Правительства РФ от 19 апреля 2017 г. № 737-р «О стратегии обеспечения единства измерений в РФ до 2025 г.».
3. *Литвинов Б. Я.* Диссертация и автореферат по ВАК РФ 05.11.13 «Методы и средства передачи размера единицы электрического сопротивления и контроля изделий электронной техники».
4. ГОСТ Р 8.764-2011 Государственная поверочная схема для средств измерений электрического сопротивления.
5. Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 января 2015 г. N 135 «Об утверждении Государственного первичного эталона единицы электрического сопротивления».
6. http://fif.vniiftri.ru/DB/com/index.htm?RU,ETALON.
7. [https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4.

УДК: 621.923.5; 681.521.2

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ХОНИНГОВАНИЯ ЦИЛИНДРОВЫХ ГИЛЬЗ ДВС

Дроботухин Владислав Кириллович,
группа ТОА-15,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. Рассмотрены возможности автоматического регулирования процессом хонингования гильз цилиндров ДВС. Выполнен анализ существующих систем активного и косвенного контроля параметров зеркала гильзы цилиндра. Показано, что применение средств систем автоматического управления процессом операции хонингование позволяют минимизировать отклонения форм исходной детали и размеров и добиться высокоэффективного ведения процесса.

Ключевые слова: хонингование; гильза цилиндра; автоматизация контроля; автоматическое управление

AUTOMATIC CONTROL OF THE HONING PROCESS OF CYLINDER SLEEVES

Drobotukhin Vladislav Kirillovich,
group TOA-15,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. Possibilities of automatic regulation of the process of honing cylinder sleeves of internal combustion engines are considered. The analysis of existing systems of active and indirect control of the parameters of the cylinder shell mirror is performed. It is shown that application of means of automatic control systems of honing operation process allows to minimize deviations of the original part forms and sizes and to achieve high efficiency of process management.

Keywords: honing; cylinder liner; automatic monitoring; automatic control

Гильза цилиндра является одной из ответственных деталей двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Повышение качества деталей цилиндропоршневой группы ДВС достигается совершенствованием технологии их изготовления как на стадии заготовительного производства [1…6], так и в процессе механической обработки [7…13]. Операция хонингования является обычно завершающей и определяющей последующие эксплуатационные свойства цилиндропоршневой группы двигателя в целом.

Сущность процесса хонингования заключается в том, что при обработке внутренних поверхностей происходит снятие припуска абразивными брусками хонинговальной головки, которая в свою очередь связана со шпинделем жестко или шарнирно, и совершает осциллирующее и возвратно-поступательное движения. В результате абразивные бруски двигаются по винтовым линиям, как показано на рис. 1.

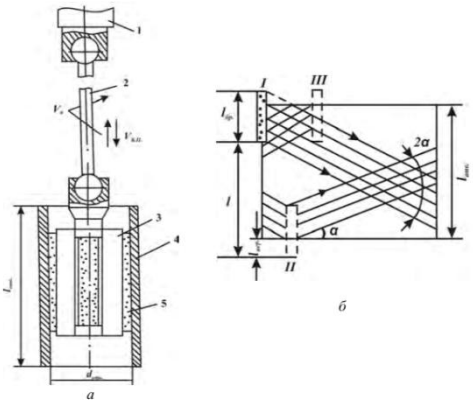


Рис. 1 – Схема хонингования

Автоматизация контроля размеров детали, которая обрабатывается за счет хонингования, создает условия для автоматического управления разнообразными этапами цикла. В настоящее время создано большое число разнообразных систем и устройств автоматического управляющего контроля, при действии которых операции контроля совмещаются с обработкой [14].

В случае применения активного контроля точность размеров обработанной детали зависит от условий обработки (непостоянства формы, вибраций станка и деталей, температурного режима и шероховатости контролируемой поверхности) и от качества измерительного прибора. В связи с этим выбор средств автоматического управления и контроля следует производить на основе анализа процесса обработки.

Системы управляющего контроля находят все большее распространение и в нашей стране. Одним из примеров является Стерлитамакский станкостроительный завод, на котором была разработана конструкция падающей пробки-калибра (рис. 2). Эту конструкцию применяют в специальных вертикально-хонинговальных станках. В качестве электроконтактного датчика в данном случае используется герметичный малогабаритный датчик 233, выпускаемый заводом ОАО Калибр. Пробка-калибр оснащена тремя пластинами-вставками из твердого сплава ВК6а, поверхность которых выполнена в виде сферы.

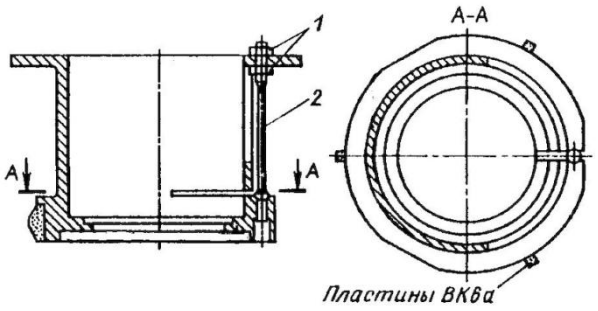


Рис. 2 – Регулируемая пробка-калибр

В результате исследований и проведенного анализа обработанных гильз цилиндра двигателя КамАЗ-420 было установлено, что при закреплении тонкостенный цилиндр подвергается деформации, что приводит к изменению исходной некруглости отверстия. На рис. 3 представлены случаи, когда в результате зажима тонкостенного цилиндра 1 цангой 2, не имеющей отклонений формы зажимной поверхности, произойдет уменьшение

исходной некруглости отверстия (рис. 3, а), так как овальность отверстия больше, чем наружной поверхности, и они однонаправлены. Во втором случае исходная некруглость отверстия увеличится (рис. 3, б), поскольку овальность отверстия и наружной поверхности разнонаправлены [15].

Для косвенного метода контроля применяется самоподнастраивающаяся система по перемещению зажимного конуса хона фирмы Nagel (рис. 4). Данный прибор обеспечивает двухконтурное управление настройкой измерительной системы хонинговального станка.

Первый контур служит для регистрации текущего размера обрабатываемого отверстия, контролируемого по величине зазора между станком 1, жестко связанным со штоком, и измерительным соплом 2.

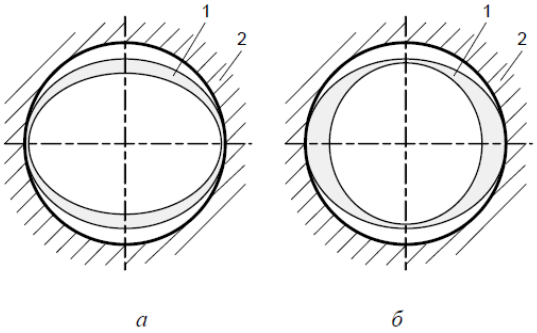


Рис. 3 – Влияние отклонения наружной поверхности

После обработки каждая деталь контролируется при помощи пневмопробки, и при уменьшении диаметра обработанных отверстий подается сигнал на опускание измерительного сопла и таким образом производится подналадка системы активного контроля и повышение точности ее работы в автоматическом режиме.

Точность обработки после использования данной подналадки достигает 0,002 – 0,003 мм.

Рис. 4 – Система для косвенного контроля фирмы Nagel

Применение средств систем автоматического управления процессом операции хонингование позволяют минимизировать отклонения форм исходной детали и размеров и добиться высокоэффективного ведения процесса [16, 17].

Применения средств автоматизации является необходимым при процессе хонингования и в ходе создания хонинговальных станков-автоматов, встраиваемых в автоматические линии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бевза В.Ф.* Совершенствование структуры и свойств заготовок деталей горного и нефтеперерабатывающего машиностроения из чугуна «нирезист» / В.Ф. Бевза, В.П. Груша, В.А. Красный // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2018, Т. 2, С. 156-167.

2. *Красный В.А.* Перспективы использования метода направленного затвердевания металла для повышения эксплуатационных свойств деталей горных машин / В.А. Красный, В.Ф. Бевза, В.П. Груша // Сборник трудов IV международной научно-практической конференции «Инновации на транспорте и в машиностроении», 2016, С. 68-72
3. *Марукович Е.И.* Повышение качества деталей из чугунов путем совершенствования процесса структурообразования / Е.И. Марукович, В.Ф. Бевза, В.П. Груша, В.А. Красный // Двигателестроение, 2015, Т. 1(259), С. 35-40.
4. *Груша В.П.* Определение возможности замены материала стальных втулок узла сочленения на серый чугун / В.П. Груша, В.А. Красный // Материалы международной научно-технической конференции ГУ ВПО Белорусско-Российский университет «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии», 2017, С. 110-111.
5. *Красный В.А.* Повышение качества заготовок деталей горного и нефтеперерабатывающего машиностроения из чугуна «нирезист» методом направленного затвердевания металла / В.А. Красный, В.П. Бевза, В.П. Груша // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME-2017. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, 2017, С. 260-263.
6. *Марукович Е.И.* Повышение эксплуатационных свойств ответственных деталей горных машин из легированных чугунов / Е.И. Марукович, В.Ф. Бевза, В.П. Груша, В.А. Красный // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2016, Т. 10, С. 48-60.
7. *Maksarov V.V.* Simulation of dynamic processes when machining transition surfaces of stepped shafts / V.V. Maksarov, V.A. Krasnyy, R.V. Viushin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 022047.
8. *Krasnyy V.* Increase of wear and fretting resistance of mining machinery parts with regular roughness patterns / V. Krasnyy, V. Maksarov, J. Olt // Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium, 2016, Vol. 27, С. 151-156.
9. *Тимофеев Д.Ю.* Повышение точности изготовления прецизионных поверхностей детали шток гидроцилиндров / Д.Ю. Тимофеев, А.Е. Ефимов // Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, С. 142-145.
10. *Красный В.А.* Триботехнические характеристики деталей горных машин с регулярной микрогеометрией поверхности / В.А. Красный, В.В. Максаров // Металлообработка, 2016. Т. 1(91), С. 29-35.
11. *Maksarov V.V.* The formation of surface roughness of piston rings for the purpose of improving the adhesion of wear-resistant coatings / V.V. Maksarov, V.A. Krasnyy // Key Engineering Materials, 2017, Vol. 736, С. 73-78.
12. *Максаров В.В.* Моделирование динамических процессов механической обработки в среде NI LABVIEW для совершенствования технологии

изготовления деталей горных машин / В.В. Максаров, А.Е. Ефимов, Д.А. Осминко // Металлообработка, 2018, Т. 1(103), С. 6-13.
13. *Ольт Ю.* Обеспечение адгезионной прочности газотермических покрытий поршневых колец двигателей карьерного транспорта / Ю. Ольт, В.В. Максаров, В.А. Красный // Записки Горного института, 2018, Т. 229, С. 77-83.
14. *Бабичев А.П.* Хонингование: монография / А.П. Бабичев, Ю.Н. Полянчиков, А. В. Славин и др. - Волгоград: ВолгГАСУ, 2013. – 245 с.
15. *Огородов В. А.* Имитационная модель процесса алмазного хонингования / Вестник УГАТУ, 2010, Т. 4 (39), С. 60-68.
16. *Муратов К.Р.* Методы хонингования высокоточных отверстий / К.Р. Муратов, Е.А. Гашев // Современные проблемы науки и образования, 2014, Т. 5, С. 28-35.
17. *Максаров В.В.* Влияние структурных параметров режущей керамики на работоспособность инструмента при обработке прецизионных поверхностей деталей горных машин / В.В. Максаров, А.Д. Халимоненко // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2017, Т. 8 (1), С 56-64.

УДК 621.923.5

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ «ПОРШЕНЬ» ДВИГАТЕЛЯ АВТОМОБИЛЯ «КАМАЗ»

Евдокименко Андрей Олегович,
группа ТОА-15,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. Рассмотрена возможность изготовления поршня ДВС автомобиля «КАМАЗ» с использованием метода штамповки. Проведён анализ характеристик, изготовленных изделий. Показано, что применение штамповки поршней позволяют сократить потребление топлива и увеличить надёжность изделия.

Ключевые слова: поршень; штамповка; двигатель внутреннего сгорания

PERFECTION OF THE TECHNOLOGY OF MANUFACTURING THE PISTON DETAILS OF THE KAMAZ VEHICLE ENGINE

Evdokimenko Andrey Olegovich,
group TOA–15,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. The possibility of manufacturing a forged piston of the KAMAZ internal combustion engine with using the stamping method. The analysis of the characteristics of manufactured products. It is shown that the use of stamping pistons can reduce fuel consumption and increase the reliability of the product.

Keywords: piston; stamping; internal combustion engine

Поршень является основной деталью двигателей внутреннего сгорания (ДВС), главной задачей которого – преобразование энергии сгорания топлива в механическую работу. Условия эксплуатации поршня экстремальны, и характеризуются высокой температурой, давлением и инерционными нагрузками [1]. Поэтому изготовление данной детали требует повышенного качества и особых свойств материалов [2-5]. Серийные моторы практически не оснащаются штампованными (коваными) поршнями, в основном устанавливая литые. Кованые поршни имеют более высокую стоимость изготовления по отношению к литым, но также и ряд существенных плюсов, такие как: высокая прочность, твёрдость, теплостойкость и более лёгкий вес. Облегчённая конструкция изделий позволяет снизить потребление топлива и увеличить КПД двигателя [6].

Изготовление штампованных поршней из предварительно деформированных высококремнистых алюминиевых материалов АК4, АК12Д, (с содержанием кремния 10…12 %), АК18Д (с содержанием кремния 17…19 %) обладает твёрдостью в пределах 115…135 единиц, а из гранулированного сплава 1379П доходит до 160 единиц по шкале Бринелля.

Сущность процесса изотермической штамповки заключается в том, что исходный материал предварительно нагревают до состояния пластической деформации и штампуют на гидравлическом прессе в специальной оснастке.

Заготовки для ковки (рис. 1) получают из особого прутка, имеющего необходимый химический состав. Изготавливается материал с использованием метода полунепрерывного литья в столб, диаметром 600 миллиметров. После этого с заготовок, при помощи механической обработки, устраняются поверхностные дефекты литья до диаметра 530 миллиметров и перепрессовывают до диаметра 121 миллиметра.

Пуансон, мерная заготовка и матрица разогреваются до высокой температуры в 400-450 градусов, после чего начинается процесс штамповки с определенной скоростью. Затем штампованные заготовки поршней, Рисунок 1, проходят необходимую термическую обработку – закалку (выдержка в печи 8 часов при температуре 495ºС и охлаждение в воде) и искусственное старение (выдержка в печи 10 часов при температуре 180-200ºС).

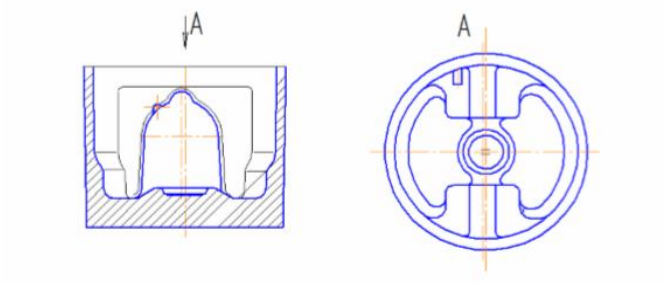


Рис. 1 – Заготовка кованого поршня

Структура металла, из которого состоят заготовки поршней, полученные штамповкой, отличается от литых своей мелкой дисперсностью и тем, что в ней отсутствуют такие грубые включения кристаллов кремния. Благодаря этому материал, из которых изготовлены штампованные поршни, характеризуется повышенными механическими параметрами не только при обычной температуре, (рис. 2), но и при рабочих температурных режимах в 300-350 градусов [6].

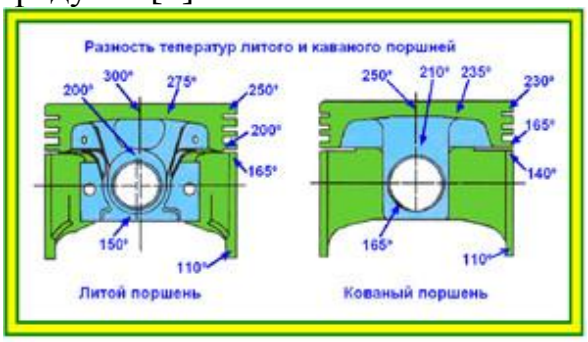


Рис. 2 – Температура поверхностей поршней при эксплуатации

Технологический процесс, реализуется при условиях серийного производства, выполняется на универсальных, специализированных, металлорежущих станках и станках с числовым программным управлением ЧПУ [7]. При проектировании технологии изготовления поршней требуется оптимизировать режимы обработки, выявлять и устранять причины появления производственных погрешностей, связанные с динамическими процессами в технологических процессах [8-12].

Необходимая точность соблюдается с первой операции – обдирки. Данная операция обеспечивает равномерность толщины головки и стенок юбки. Затем обрабатываются конические поверхности, при помощи которых создаётся ось поршня как теоретическая технологическая база. Далее производятся операции для придания формы всех поверхностей. Сложная конструкция внутренних и наружных поверхностей поршней ДВС задаёт неравномерную и низкую жесткость изделия в продольном и поперечном сечениях. Данная конфигурация заставляет относиться к операциям самым внимательным образом, при помощи которых обеспечиваются заданные требования конструкторской точности.

Формирование овально-бочкообразного профиля и чистовое растачивание отверстия под палец являются ответственными операциями, которые выполняются в конце технологического процесса с при помощи высокоточных станков, имеющими шпиндели, установленные на гидростатических опорах. Финишная обработка производится инструментами, оснащенными композиционными материалами. Все это позволяет выдержать высокие требования точности формы и размеров указанных поверхностей, задаваемые конструктором [13-16].

Обработка заготовок поршней на станочном оборудовании сопровождается образованием отходов производства в виде металлической стружки, которая являясь ценным видом сырья, должна собираться и перерабатываться на специализированных технологических линиях в компактные брикеты для последующей переплавки [17, 18].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Райков И.Я.* Конструкция автомобиля. Том 2. Двигатель. - М.: МАМИ, 2001. - 568с.

2. *Марукович Е.И.* Повышение качества деталей из чугунов путем совершенствования процесса структурообразования / Е.И. Марукович, В.Ф. Бевза, В.П. Груша, В.А. Красный // Двигателестроение, 2015, Т. 1(259). С. 35-40.

3. *Груша В.П.* Определение возможности замены материала стальных втулок узла сочленения на серый чугун / В.П. Груша, В.А. Красный // Материалы международной научно-технической конференции ГУ ВПО Белорусско-Российский университет «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии», 2017, С. 110-111.

4. *Красный В.А.* Повышение качества заготовок деталей горного и нефтеперерабатывающего машиностроения из чугуна «нирезист» методом направленного затвердевания металла / В.А. Красный, В.П. Бевза, В.П. Груша // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME-2017. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, 2017, С. 260-263.

5. *Марукович Е.И.* Повышение эксплуатационных свойств ответственных деталей горных машин из легированных чугунов / Е.И. Марукович,

В.Ф. Бевза, В.П. Груша, В.А. Красный // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2016, Т. 10, С. 48-60.
6. *Калпин Ю.Г.* Изотермическая штамповка // Автомобильная промышленность, 1989, Т. 9, С. 27-28.
7. *Злотников Е.Г.* Обучение студентов машиностроительного направления программированию станков с ЧПУ на базе интерактивного учебного класса компании EMCO / Современные образовательные технологии в подготовке специалистов для минерально-сырьевого комплекса. Сборник научных трудов, 2018, С. 563-568.
8. *Mavliutov A.R.* Optimization of cutting parameters for machining time in turning process / A.R. Mavliutov, E.G. Zlotnikov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, Vol. 327 (4), 42069.
9. *Ershov D.Y.* Analysis of causes and mathematical description of process of manufacturing errors and local defects in mechanical system nodes / D.Y. Ershov, L.E. Koboyankwe, E.G. Zlotnikov // IOP Conference Series: Earth And Environmental Science, 2017, Vol. 87 (8), 082015.
10. *Ershov D.Y.* Dynamic processes in technological systems of machining and the nature of their origin / D.Y. Ershov, E.G. Zlotnikov, L.E. Koboyankwe // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 87 (8), С. 82016.
11. *Maksarov V.V.* Simulation of dynamic processes when machining transition surfaces of stepped shafts / V.V. Maksarov, V.A. Krasnyy, R.V. Viushin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 022047.
12. *Максаров В.В.* Моделирование динамических процессов механической обработки в среде NI LABVIEW для совершенствования технологии изготовления деталей горных машин / В.В. Максаров, А.Е. Ефимов, Д.А. Осминко // Металлообработка, 2018, Т. 1(103), С. 6-13.
13. *Тимофеев Д.Ю.* Повышение точности изготовления прецизионных поверхностей детали шток гидроцилиндров / Д.Ю. Тимофеев, А.Е. Ефимов // Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, С. 142-145.
14. *Бабичев А.П.* Хонингование: монография / А.П. Бабичев, Ю.Н. Полянчиков, А. В. Славин и др. - Волгоград: ВолгГАСУ, 2013. – 245 с.
15. *Огородов В. А.* Имитационная модель процесса алмазного хонингования / Вестник УГАТУ, 2010, Т. 4 (39), С. 60-68.
16. *Муратов К.Р.* Методы хонингования высокоточных отверстий / К.Р. Муратов, Е.А. Гашев // Современные проблемы науки и образования, 2014, Т. 5, С. 28-35.
17. *Злотников Е.Г.* Выбор технологической схемы переработки металлической стружки в автоматизированном производстве / Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, С. 91-93.
18. *Злотников Е.Г.* Современные технологии переработки и брикетирования металлической стружки в автоматизированных производствах / Е.Г. Злотников, В.В. Максаров // Записки горного института, 2014, Т. 209, С. 37-41.

УДК 389.14 - ОТИ

АНАЛИЗ ЭТАЛОННОЙ БАЗЫ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ОБЛАСТИ НАНОМЕТРИИ

Егошина Елена Вячеславовна,
группа МО-16,
Санкт-Петербургский горный
университет

Аннотация. В настоящий момент на рынке появляется все больше видов продукции, изготовленных с применением нанотехнологий. В области метрологического обеспечения наноиндустрии точные, достоверные и прослеживаемые измерения являются основой для успешного и безопасного развития нанотехнологий. Проводится анализ современного состояния эталонной базы и средств измерений, применяемых в области нанометрического диапазона.

Ключевые слова: метрология; нанометрология; нанотехнологии; наноиндустрия; электронная микроскопия

ANALYSIS OF THE REFERENCE BASE AND MEASURING INSTRUMENTS PRESSED IN THE FIELD OF NANOMETRIC RANGE

Egoshina Elena Vyacheslavovna,
group MO-16,
Saint-Petersburg Mining University

Abstract. At the moment, more and more products manufactured using nanotechnology appear on the market. In the field of metrological support of nanoindustry, accurate, reliable and traceable measurements are the basis for the successful and safe development of nanotechnology. The analysis of the current state of the reference base and measuring instruments used in the field of nanometric range.

Keywords: metrology; nanometrology, nanotechnology; nanoindustry; electron microscopy

Метрологии (нанометрии) принадлежит особая роль ключевых основополагающих элементов приборно-аналитической, технологической и интеллектуальной составляющих нанотехнологий и наноиндустрии [1].

Из определения нанотехнологии следует первоочередная задача измерений геометрических параметров объекта, что обуславливает необходимость обеспечения единства линейных измерений в диапазоне 1-100

нм [2].

Результаты измерений размеров в нанометровом диапазоне должны быть прослеживаемы к единице длины в системе СИ – метру. В настоящее время наиболее широкое распространение для практической реализации метра получило излучение гелий-неонового лазера, стабилизированного по линии насыщенного поглощения в молекулярном йоде 127, с длиной волны $\lambda = 632{,}99139822$ нм с относительной стандартной неопределенностью $2{,}5 \cdot 10^{11}$ [3, 4].

Государственный первичный эталон представляет собой комплекс, в состав которого также входят следующие средства измерений:

- установка для измерений разности частот источников лазерного излучения;
- универсальный интерференционный метровый компаратор;
- лазерный интерференционный тридцатиметровый компаратор;
- лазерный интерференционный компаратор для измерений длины в субмикронном и нанодиапазоне;
- гетеродинный интерферометр [5].

Схема обеспечения прослеживаемости измерений линейных размеров в нанометровом диапазоне представлена на рис. 1.

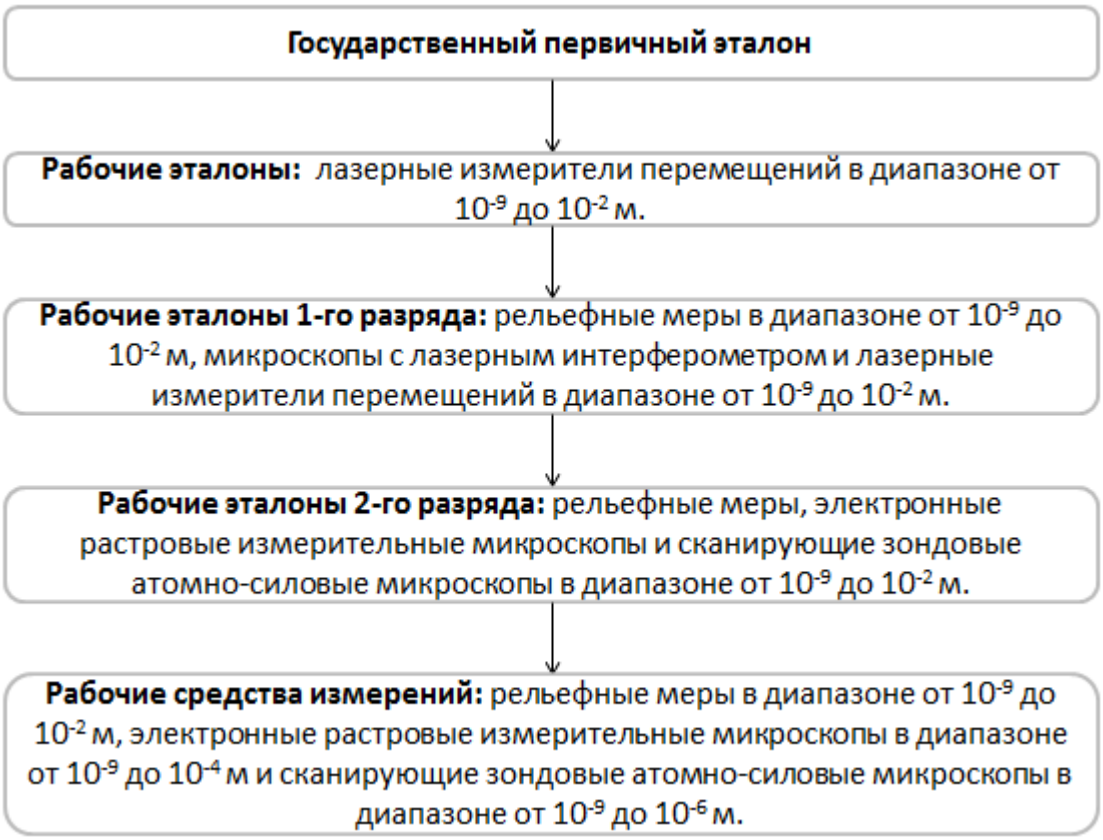


Рис. 1 – Схема обеспечения прослеживаемости измерений линейных размеров в нанометровом диапазоне

На практике обычно измерения геометрических параметров объектов в нанометровой области проводятся с помощью растровых электронных (РЭМ)

и сканирующих зондовых (СЗМ) микроскопов, расположенных у потребителя.

К сканирующей зондовой микроскопии относят сканирующие электронные микроскопы (СЭМ), просвечивающие электронные микроскопы (ПЭМ), сканирующие туннельные микроскопы (СТМ) атомно-силовые микроскопы (АСМ), микроскопы ближнего поля и ряд других приборов обеспечивающих наивысшее разрешение по измеряемым физическим величинам при нанометровых размерах исследуемого объекта.

РЭМ и СЗМ только тогда могут считаться средствами измерений, когда их параметры соответствующим образом аттестовываются, калибруются и контролируются, причем последнее осуществляется непосредственно в процессе измерений. Важнейшей задачей метрологического обеспечения линейных измерений в нанометровом диапазоне является создание вещественных носителей размера – мер с программируемым нанорельефом поверхности, обеспечивающих калибровку средств измерений с наивысшей точностью.

Именно такие трехмерные меры малой длины (рис. 2), например, МШПС, остаются единственным возможным средством калибровки СЗМ и РЭМ конечных пользователей [6-7].

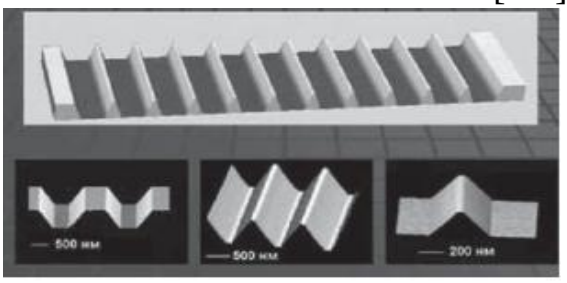


Рис. 2 – Рельефная мера малой длины

Конструктивно мера, получившая название МШПС-2.0К (мера ширины и периода, специальная, номинальный размер 2,0 мкм, кремниевая), сформирована на поверхности монокристаллического кремния. Кремниевый чип с мерой имеет размер 10x10 мм^2 и толщину 500 мкм. Мера состоит из пяти одинаковых модулей, расположенных по четырем углам квадрата 1x1 мм^2 и в его центре [8].

С помощью данной меры возможно осуществлять калибровку увеличения и измерение диаметра электронного зонда РЭМ, а в случае атомно-силовых микроскопов – еще и радиусы острия зондов, линейность шкал и ортогональность сканеров [9].

Так, при геометрических измерениях нанообъектов возникают наибольшие проблемы, поскольку это требует разработки теории, методов и инструментов для измерения параметров таких объектов в нанодиапазоне, а также создания соответствующих эталонных установок и стандартных образцов сравнения. Все это в совокупности составит основу для обеспечения единства и повышения качества измерений в нанометрологии [10].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афанасьев А.А.* Нанометрология в технических исследованиях - основа дальнейшего развития науки / А.А. Афанасьев, К.С. Ивлева,

Д.С. Прохоренков // Вестник ИрГТУ, 2015, Т. 3.
2. *Бурганова Л.Р.* Метрологическое обеспечение измерений линейных параметров нанообъектов / Л.Р. Бурганова, А.Ф. Дресвянников // Вестник Казанского технологического университета, 2012, Т. 7.
3. *Яминский Д.* Эталон нанометра / Д. Яминский, И. Яминский // Наноиндустрия, 2009, Т. 4.
4. *Тодуа П.* Нанометрология – основа устойчивого развития нанотехнологий / П. Тодуа, В. Гавриленко // Наноиндустрия, 2013, Т. 5.
5. ГОСТ Р 8.763-2011 «Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Государственная поверочная схема для средств измерений длины в диапазоне от $1 \cdot 10^{-9}$ до 50 м и длин волн в диапазоне от 0,2 до 50 мкм».
6. *Тодуа П.А.* Метрология и стандартизация в нанотехнологиях / Фотоника, 2010, Т. 1.
7. *Гоголинский К.* Метрологическое обеспечение измерений линейных размеров в нанометровом диапазоне / К. Гоголинский, А. Усеинов, А. Кузнецов, В. Решетов, С. Голубев // Наноиндустрия, 2012, Т. 1.
8. *Тодуа П.* Нанометрология и стандартизация в нанотехнологиях / Наноиндустрия, 2010, Т. 5.
9. *Трапашко Г.А.* Калибровка установок измерений размеров элементов микроэлектронных структур / Наука и техника, 2012, Т. 4.
10. *Штыков С.Н.* Наноаналитика: проблемы концепции и метрологии / Вестник ННГУ, 2013, Т. 5(1), с. 55-60.

УДК 622.232.8

ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ УНИФИЦИРОВАННЫХ ВЫЕМОЧНЫХ МОДУЛЕЙ ДЛЯ ДОБЫЧИ УГЛЯ

Елихин Александр Сергеевич,
аспирант,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

АННОТАЦИЯ

Аннотация. Целью настоящей работы является анализ и обоснование структуры унифицированных выемочных модулей, выбор кинематических схем выемочного устройства**,** а также принципа построения фронтальных модульных комплексов.

Ключевые слова: уголь; очистной забой; избирательность; производительность; удельные затраты энергии; выемочный модуль; фронтальный модульный комплекс

SUBSTANTIATION OF STRUCTURE OF THE UNIFIED EXTRACTION MODULES FOR MINING COAL

Elikhin Alexander Sergeevich,
postgraduate student,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. The purpose of this work is to identify the analysis and justification of the structure of unified extraction modules, the choice of kinematic schemes of the extraction device, as well as the principles of construction of front-end modular complexes.

Key words: coal; mining face; selectivity; output per stope; specific energy consumption; the extraction module; front modular complex

На сегодняшний день в благоприятных горно-геологических условиях современная техника (комбайновые и струговые механизированные комплексы) позволяет получить довольно высокие и стабильные результаты. [1, 2]. Однако при сложных горно-геологических условиях интенсивность и устойчивость технологического процесса значительно снижается. Основной причиной является то, что структура этих выемочных машин жесткая и слабо адаптивная к изменяющимся горно-геологическим условиям [3-5]. Более гибкая структура характерна для секционных агрегатов и выемочных

модулей [6-9].

Комбайновые способы обработки забоя имеют существенные недостатки [10-12]: низкая сортность угля по гранулометрическому составу, высокая энергоемкость разрушения, высокая концентрация мощности, физиологическая напряженность операторов (машинистов) и опасность работ на ограниченном участке забоя – в зоне движения комбайна и перемещения секции крепи, невозможность селективной выемки и избирательной обработки забоя, невысокая устойчивость технологического процесса. Для струговых способов – низкая по сравнению с комбайновыми производительность, ограниченная область применения по крепости разрушаемого массива и горно-геологическим условиям, невозможность селективной и избирательной обработки забоя, как и при комбайновом способе.

Для совершенствования способов обработки забоя и создания выемочных машин при подземной добыче угля перспективными являются секционные агрегаты. Одним из видов таких агрегатов является фронтальный модульный комплекс (КФМ) [6]. Он состоит из унифицированных выемочных модулей, обрабатывающих забой участками одновременно по всему фронту забоя с согласованными режимами работы и с возможностью корректирования режима работы каждого модуля в отдельности.

1. Методика выбора структуры и кинематических параметров УВМ, выбор опорной базы.

Структура, компоновка, кинематическая схема и параметры выемочного механизма УВМ зависят от принятого способа обработки угольного массива (СОУМ) и его геометрических параметров [13], а также типа и параметров исполнительного органа, способа погрузки отбитой массы на транспортное забойное средство, структуры основного оборудования комплексно-механизированного очистного забоя (КМОЗ).

К основному оборудованию КМОЗ относятся механизированная крепь, забойный конвейер и выемочное устройство. В рассматриваемой ситуации опорной базой выемочного механизма может быть секция механизированной крепи (основание, поддерживающее или ограждающее перекрытие), став забойного конвейера или специальная база по аналогии с выемочными агрегатами, например агрегат АК-3 или АНЩ. Опорная база предназначена для позиционирования узла крепления выемочного механизма относительно обрабатываемого локального забоя и корпуса УВМ и передачи сил реакции забоя при его разрушении на опорную базу.

Основные требования к опорной базе УВМ [14]:

- опорная база УВМ должна обладать запасом устойчивости и не менять своего положения при перемещениях и под действием сил от выемочного механизма во всех основных режимах его работы;

- положение узла крепления выемочного механизма должно обеспечивать симметричность геометрической схемы движения исполнительного органа при осуществлении избирательных срезов по локальному забою;

- возможность установки при позиционировании крайних положений исполнительного органа у кровли, почвы и по длине забоя с учетом возможных смещений границ локального забоя;

- обеспечивать свободный проход груза при его транспортировании вдоль забоя, людей - при управлении, обслуживании, ремонтных работах;

Наиболее рациональный вариант опорной базы УВМ - секция механизированной крепи, как обязательный элемент добычных и проходческих комплектов и комплексов.

2. Основные положения метода выбора кинематических схем механизмов резания (выемочного устройства).

Вид кинематической схемы механизма выемочного устройства определяется СОУМ [13], осуществляемым этим механизмом, типом узла установки (подвески) и опорной базой. Кинематические схемы можно разделить на две схемы: кинематическую схему механизма подвески (установки) и механизма резания (скола). При этом можно рассматривать механизмы резания как плоские рычажные механизмы с низкими парами и одноподвижными звеньями [15], что упрощает их анализ и синтез.

Для оценки успешного выполнения одной из основных задач проектирования механизма − выбора структурной схемы и определения размеров звеньев необходимо определить кинематические характеристики: траектории движения точек и звеньев механизма, их скорости и ускорения, функции положения, передаточные функции. Такие условия определяются свойством гидропривода для достижения максимальных значений его КПД и требованиями эргономичности механизма в ограниченное призабойное пространство. Основные размеры рычажного механизма определяются СОУМ [13], размерами секции крепи, принятой в качестве базовой, мощностью пласта, шагом расстановки секций по длине лавы и длиной призабойной зоны от груди забоя до стоек первого ряда секции.

3. Принципы построения структуры комплексов.

На основе обзора проведенных исследований был сформулирован ряд исходных положений метода построения структуры КФМ. В качестве базовой конструкции для установки выемочного механизма модуля целесообразно принять пошагово-перемещающуюся базовую конструкцию, например, секцию механизированной крепи.

Типоразмеры манипуляторов выемочных механизмов УВМ определяются типоразмером и параметрами секций крепи, принятых в качестве базовых, по мощности пласта, шагу расстановки, ширине призабойного пространства и классом кровли и почвы. Манипуляторы могут устанавливаться на перекрытии, основании секции крепи или на специальной балке с помощью унифицированных по конструкции и типоразмерам узлов подвески (установки) выемочных механизмов.

Для снижения требований к точности позиционирования исполнительного органа при разрушении массива по границам «пласт-кровля» и «пласт-почва» и упрощения алгоритма и системы управления модулем следует верхнюю пачку пласта разрушать скалывающими

козырьками секций крепи, нижнюю пачку пласта у почвы - конвейероструговым исполнительным органом [13].

Для создания раздельных транспортных потоков угля и породы при селективной выемке целесообразно комплектовать КФМ забойным зачистным конвейером с конвейероструговым цепным исполнительным органом, замкнутым в горизонтальной плоскости. Для обеспечения надежного управления перемещением секций крепи и комплексом в целом в плоскости пласта, следует ориентироваться на агрегатные крепи.

Вывод:

Разработка методов выбора структуры и параметров кинематических схем механизмов резания, а также способов построения секционных агрегатов на базе УВМ позволяет на одной базе изготавливать современную технику для разных забоев.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Стебнев А.В.* Анализ работы очистных механизированных комплексов в условиях шахт АО «СУЭК-Кузбасс» / А.В. Стебнев, С.Г. Мухортиков, Д.А. Задков // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME-2017. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, 2017, С. 84-89.

2. *Stebnev A.V.* Analysis of operation of powered longwall systems in mines of SUEK-Kuzbass / A.V. Stebnev, S.G. Mukhortikov, D.A. Zadkov, V.V. Gabov // Eurasian mining, 2017, Vol. 2, C. 28-32.

3. *Бабырь Н.В.* Повышение адаптивности секции механизированной крепи к медленно изменяемому горному давлению / Н.В. Бабырь, Д.А. Задков // Труды XIV международной научно-технической конференции «Чтения памяти В.Р. Кубачека». Екатеринбург. Уральский государственный горный университет, 2016, С. 18-21.

4. *Задков Д.А.* Повышение устойчивости работы секции механизированной крепи / Д.А. Задков, Н.В. Бабырь // 12-я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. Тула. Тульский государственный университет, 2016, Т. 1, С. 265-267.

5. *Буевич В.В.* Статически адаптируемая секция крепи механизированного комплекса / В.В. Буевич, В.В. Габов, Д.А. Задков, О.В. Кабанов // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромыслового оборудования, 2014, Т. 1(1), С. 66-70.

6. *Gabov V.V.* Energy-saving modular units for selective coal cutting / V.V. Gabov, D.A. Zadkov // Eurasian mining, 2016, Vol. 2 1, C. 37-40.

7. *Габов В.В.* Особенности метода выбора параметров исполнительного органа унифицированного модуля / В.В. Габов, Э.В. Кустриков, Д.А. Задков // Современные проблемы науки и образования, 2015, Т. 1(2), С. 94.

8. *Кустриков Э.В.* Особенности конструкции и технологии работы

унифицированного выемочного модуля для добычи калийной руды / Э.В. Кустриков, В.В. Габов, Д.А. Задков // Современные проблемы науки и образования, 2015, Т. 1(2), С. 95.
9. *Задков Д.А.* Основные особенности выбора параметров исполнительного органаунифицированного модуля для добычи калийной руды / Д.А. Задков, В.В. Габов, Э.В. Кустриков // Сборник трудов III международной научно-практической конференции «Инновации на транспорте и в машиностроении», 2015, С. 11-15.
10. *Задков Д.А.* Актуальность и перспективность избирательных способов отделения угля от массива / Д.А. Задков, В.В. Габов, С.Г. Мухортиков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2018, Т. S48, С. 387-397.
11. *Габов В.В.* Развитие способов отделения угля от массива добычными машинами / В.В. Габов, С.Л. Иванов, Д.А. Задков, А.А. Банников // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2005, Т. 7, С. 297-302.
12. *Габов В.В.* Повышение эффективности процесса добычи с освоением избирательных способов отделения угля от массива / В.В. Габов, Д.А. Задков, Ю.В. Лыков // Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, С. 12-15.
13. *Габов В.В.* Классификация способов отделения угля от массива выемочными модулями / В.В. Габов, В.Ф. Тужиков, Д.А. Задков // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2003, Т. 6, С. 147-149.
14. *Габов В.В.* Выбор структуры и параметров выемочных модулей фронтальных комплексов / В.В. Габов, В.П. Докукин, Д.А. Задков // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2002, Т. 10, С. 222-223.
15. *Тужиков В.Ф.* Кинематические схемы механизмов резания выемочных модулей фронтальных комплексов / В.Ф. Тужиков, Д.А. Задков // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2003, Т. 5, С. 142-144.

УДК 621.795.8

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ЛАЗЕРНОЙ МАРКИРОВКИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОРРОЗИОННОСТОЙКОЙ СТАЛИ

Замараев Антон Геннадьевич,
группа МНМ-15,
Никитина Вера Олеговна,
группа МНММ-17,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра МиТХИ

Аннотация. В данной работе рассматриваются режимы нанесения лазерной маркировки на сталь 08Х18Н10 при помощи системы «МиниМаркер2–20А4». Целью исследования является получение максимально контрастной маркировки путем оптимизации параметров нанесения методом планирования эксперимента.

Ключевые слова: маркировка; лазер; планирование эксперимента; коррозионностойкая сталь

OPTIMIZATION OF MODES OF LASER MARKING OF PRODUCTS FROM CORROSION-RESISTANT STEEL

Zamaraev Anton Gennadyevich,
group MNM-15,
Nikitina Vera Olegovna,
group MNMM-17 ,
Saint-Petersburg Mining University,
Department MiTHI

Abstract. This study examines the modes of applying laser marking on steel AISI 304 using the MiniMarker2-20A4 system. The aim of the study is to obtain the maximum contrast marking by optimizing the deposition parameters using the experiment planning method.

Keywords: marking; laser; experiment planning; stainless steel

Актуальность темы объясняется тем что, лазерная индустрия к настоящему времени является одной из ведущих мировых отраслей наукоемкой промышленности. Подбор оптимального режима нанесения лазерной маркировки обеспечивает быструю, качественную, а также экономически выгодную маркировку промышленных изделий [1-9].

После рассмотрения и подсчета количества, требуемых для выполнения эксперимента параметров лазерной установки, был выполнен дробный факторный эксперимент с дублированием в центре плана вида 2^{7-3} (табл. 1) [10-12].

Таблица 1

«Уровни варьирования факторов для подложки и кода»

Фактор	Уровни варьирования факторов							Интервал варьирования ΔX_i
		Миним.		Основной		Максим.		
Наименование	Обозн.	Число	Код, $-x_i$	Число	Код, x_0	Число	Код, $+x_i$	
Частота, X_1	n	60	-1	80	0	100	1	20
Скорость (подложка), X_2	V	450	-1	600	0	750	1	150
Скорость (код), X_3	V	5	-1	10	0	15	1	5
Мощность, X_4	P	20	-1	30	0	40	1	10
Линиатура (подложка), X_5	lpi	60	-1	75	0	90	1	15
Линиатура (код), X_6	lpi	20	-1	35	0	50	1	15
Длит.имп., X_7	t	50	-1	100	0	200	1	75

По данным табл. 1 был реализован 21 опыт по нанесению *QR*-кода на сталь 08Х18Н10 с дублированием в центре плана.

После проведения всех опытов получились образцы, некоторые из которых представленны на рис. 1.

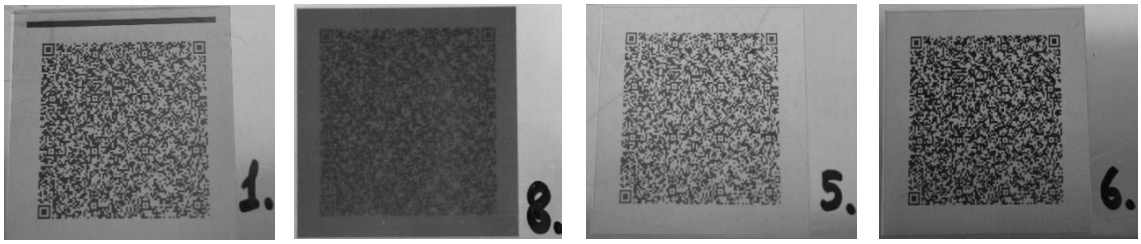


Рис. 1 - Образцы с нанесенным *QR* – кодом по параметрам плана эксперимента

За функцию отклика был выбран показатель контрастности изображения. Черно-белые изображения *QR*-кода были получены с помощью микроскопа *eScope Pro DP-M*17 [13].

Расчет контрастности (функции отклика) для дальнейшего планирования эксперимента производится по следующей формуле:

$$K = \frac{П_п - П_к}{П_п},$$

где: $П_п$ - показатель *RGB* подложки; $П_к$ - показатель *RGB* кода [14-16].

После расчета доверительного интервала и коэффициентов регрессии были определены значимые коэффициенты функции отклика, которая будет выглядеть следующим образом:

$$Y = 0{,}661 + 0{,}065x_1 + 0{,}026x_2 - 0{,}045x_4 - 0{,}015x_5 + 0{,}024x_6 + 0{,}091x_7.$$

Выводы:

В изученных интервалах варьирования на значение контраста нанесенного изображения влияют: частота, мощность, скорость нанесения подложки, а также взаимосвязь частота – скорость нанесения и связь частота – мощность. С учетом знака наибольшее влияние на контрастность оказывает значение длительности импульса и частоты нанесения маркировки. С учетом коэффициента наибольшее влияние на контрастность оказывает частота и длительность импульса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пряхин Е.И.* Нанобар-код - новая двухмерная символика для лазерной маркировки изделий / Е.И. Пряхин, И.М. Малюшин, В.И. Вовк // Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, С. 115-118.
2. *Пряхин Е.И.* Оценка контрастности лазерной маркировки с помощью профилометр / Е.И. Пряхин, О.С. Чиркова, Д.А. Кончус, А.В. Сивенков // Сборник научных статей по итогам Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 2018, С. 68-69.
3. *Болобов В.И.* Зависимости твердости металлов от степени пластической деформации при различных способах деформирования / В.И. Болобов, В.С. Бочков, С.А. Чупин, П.П. Бондаренко, Сюй Цинянь // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2015, Т. 81(6), С. 52-56.
4. *Болобов В.И.* Влияние вида упрочняющей обработки на износостойкость материалов горного оборудования / В.И. Болобов, С.А. Чупин // Записки горного института, 2015, С. 44-48.
5. *Ганзуленко О.Ю.* Выбор состава сталей с целью получения изображений полной цветовой гаммы на поверхности изделий при импульсном лазерном излучении / О.Ю. Ганзуленко, А.П. Петкова // Записки горного института, 2014, С. 216-219.
6. *Ганзуленко О.Ю.* Особенности окисления некоторых металлических материалов при декорировании с применением лазерных технологий / О.Ю. Ганзуленко, Е.В. Ларионова Е.И. Пряхин // Дизайн. Материалы. Технология, 2011, Т. 2(17), С. 67-70.
7. *Пряхин Е.И.* Физико- химические аспекты формирования цветовых оттенков под воздействием лазерного излучения при декорировании металлических изделий / Е.И. Пряхин, О.Ю. Ганзуленко, Е.В. Ларионова // Дизайн. Материалы. Технология, 2010, Т. 2(13), С. 52-55.

8. *Пряхин Е.И.* Особенности формирования цветных оксидных пленок на металлической поверхности под воздействием лазерного излучения / Е.И. Пряхин, М.Г. Афонькин, Е.В. Ларионова // Дизайн. Материалы. Технология, 2010, Т. 3(14), С. 75-79.
9. *Mavliutov A.R.* Optimization of cutting parameters for machining time in turning process / A.R. Mavliutov, E.G. Zlotnikov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, Vol. 327, 42069.
10. *Сивенков А.В.* Влияние лазерной маркировки на свойства поверхности стали 08Х18Н10 / О.С. Чиркова, Д.А. Кончус, А.В. Сивенков // Металлообработка, 2018, Т. 4(106), С. 21-27.
11. *Сивенков А.В.* Влияние лазерной маркировки на изменение структуры и свойств стали аустенитного класса / А.В. Сивенков, Д.А. Кончус, Е.И. Зверькова // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME-2017. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, 2017, С. 364-368.
12. *Кончус Д.А.* Лазерная маркировка деталей автомобилей нанобар-кодом / Д.А. Кончус, А.В. Сивенков // Сборник трудов III международной научно-практической конференции, 2015, С. 81-84.
13. *Кончус Д.А.* Маркировка прецизионным лазером оборудования и деталей машин нефтяной и газовой промышленности / В сборнике материалов XVII Международной молодежной научной конференции «Севергеоэкотех-2016», 2016, С. 194-197.
14. *Пряхин Е.И.* Применение лазерной технологии для маркировки экспонатов горного музея / Е.И. Пряхин, В.В. Крукович // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME-2017. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, 2017, С. 353-355.
15. *Sivenkov A.V.* Assessment of laser marking contrast with profilometer / A.V. Sivenkov, O.S. Chirkova, D.A. Konchus, E.I. Priahin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018.
16. *Никитина В.О.* Оптимизация режимов лазерной маркировки изделий из коррозионностойкой стали методом планирования эксперимента / В.О. Никитина, Д.А. Кончус, А.В. Сивенков // Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции, 2017, С. 139-142.

УДК 620.179.16

ПОВЫШЕНИЕ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ ЗЕРКАЛЬНО-ТЕНЕВОГО МЕТОДА УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ С ЭКВИДИСТАНТНЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ

Иванов Георгий Андреевич,
группа ПМК-15,
Санкт-Петербургский горный университет

Аннотация. Рассмотрен вариант повышения помехозащищенности зеркально-теневого метода ультразвукового контроля с использованием анализа огибающей донного сигнала. Приведены результаты экспериментальных исследований по оценке уровня донного сигнала при удалении приемника от излучателя.

Ключевые слова: зеркально-теневой метод; повышение помехозащищенности; огибающая донного сигнала

IMPROVING THE NOISE IMMUNITY OF THE MIRROR-SHADOW METHOD OF ULTRASONIC TESTING OF PRODUCTS WITH EQUIDISTANT SURFACES

Ivanov Georgyi Andreevich,
group PMK-15,
Saint Petersburg Mining University

Abstract. A variant of improving the noise immunity of the mirror-shadow method of ultrasonic testing using the analysis of the envelope of the bottom signal is considered. The results of experimental studies to assess the level of the bottom signal when the receiver is removed from the emitter are presented.

Keywords: mirror-shadow method; improving noise immunity; envelope of the bottom signal

Зеркально-теневой метод (ЗТМ) – комбинированный метод неразрушающего контроля (НК), использующий влияние параметров объекта контроля (ОК) как на отражение, так и на прохождение упругих волн. ЗТМ основан на слежении за амплитудой донного сигнала (д.с.). По технике выполнения (фиксируется эхо-сигнал) – это метод отражения, а по физической сущности (измеряют ослабление дефектом сигнала, дважды прошедшего через ОК) он близок к теневому методу, который является методом прохождения, поэтому ЗТМ относят к комбинированным методам [1].

ЗТМ можно реализовать: прямыми пьезопреобразователями (ПЭП) по первому донному импульсу продольной волны, двумя наклонными ПЭП по донному импульсу продольной и поперечной волны. Этим методом можно контролировать только плоскопараллельные объекты.

При любом способе контроля амплитуда эхо-импульса (донного сигнала) от противоположной поверхности ОК в процессе перемещения искателя несколько меняется из-за нарушений акустического контакта и спадает при обнаружении дефекта. Поэтому во всех случаях признак дефекта – уменьшение донного импульса в определенное, заданное число раз [2]. Чем крупнее дефект, тем существеннее ослабление донных импульсов, вызываемое этим дефектом.

Рассмотрим реализацию ЗТМ на примере ультразвуковой рельсовой дефектоскопии. Для анализа изменения амплитуд донного сигнала производят его выделение с помощью узкого стробирующего импульса. Результаты контроля прямым ПЭП отображаются на дефектограмме и анализируются не только по эхо-импульсам и величине пропадания линии д.с., но и по форме амплитудной огибающей донных сигналов. Огибающая амплитуд донных сигналов – это линия, соединяющая вершины донных импульсов во всех циклах излучения-приема у.з. колебаний по мере перемещения преобразователя по рельсу с определенным (2–5 мм) шагом. [3].

ЗТМ является одним из основных способов, применяемых для обнаружения дефектов в виде вертикальных расслоений в шейке и подошве рельса. Для ЗТМ характерны помехи, описанные в работе [2].

Во всех рельсовых дефектоскопах ЗТМ реализован при помощи прямого преобразователя (обычно раздельно-совмещенного, РС ПЭП) с углом ввода у.з. колебаний $\alpha=0°$ [4]. В зависимости от вида дефектоскопического средства частота посылок зондирующих импульсов разнится, и составляет от 100 до 4000 Гц. Излучение зондирующих импульсов происходит, главным образом, по нормали к поверхности контролируемых изделий сотни или даже тысячи раз в секунду. Соответственно приемный преобразователь (часто прием и излучение осуществляют с помощью одного и того же преобразователя) сотни или тысячи раз в секунду принимает из изделия отклики или, как их еще называют, «реализации» сигналов [5]. При этом в процессе излучения часть энергии акустической волны рассеивается в металле рельса и не анализируется, так как излучение и прием ультразвуковой волны происходит только вдоль акустической оси преобразователя.

В данной работе рассматривается возможность минимизации следующих помех:

- вызванных нарушением акустического контакта между пьезопреобразователем и поверхностью изделия;
- связанных с изменением отражающих свойств донной поверхности, например, коррозия подошвы рельсов.

Для уменьшения влияния указанных помех предлагается установить один, либо пару дополнительных ПЭП, работающих только на прием УЗК, с последующей обработкой сигналов, представленной ниже.

Физические принципы, на которых основана работа, предполагают оптикогеометрическую нотацию траекторию излучения [6]. В данном рассмотрении пара элементов излучатель-приемник формирует «лучевую трубку», форма и размеры которой определяются элементами пьезопреобразователя. Часть излучаемой энергии, находящейся в «лучевой трубке» принимается обратно ПЭП, остальная же часть энергии УЗ волн в пределах основного лепестка диаграммы направленности рассеивается в металле рельса, в том числе, и в сторону поверхности катания рельса.

Для оценки реального уровня донного сигнала на дополнительном ПЭП собрана экспериментальная установка, схема которой показана на рис. 1,а. Установка позволяет при помощи метрического винта с некоторым шагом изменять базовое расстояние между излучателем и приемником. При изменении базового расстояния фиксируется значение амплитуды д.с.

Полученные значения амплитуды д.с., переведены из дБ в разы по известной методике [7], обобщены в таблице и представлены на рис. 1,б.

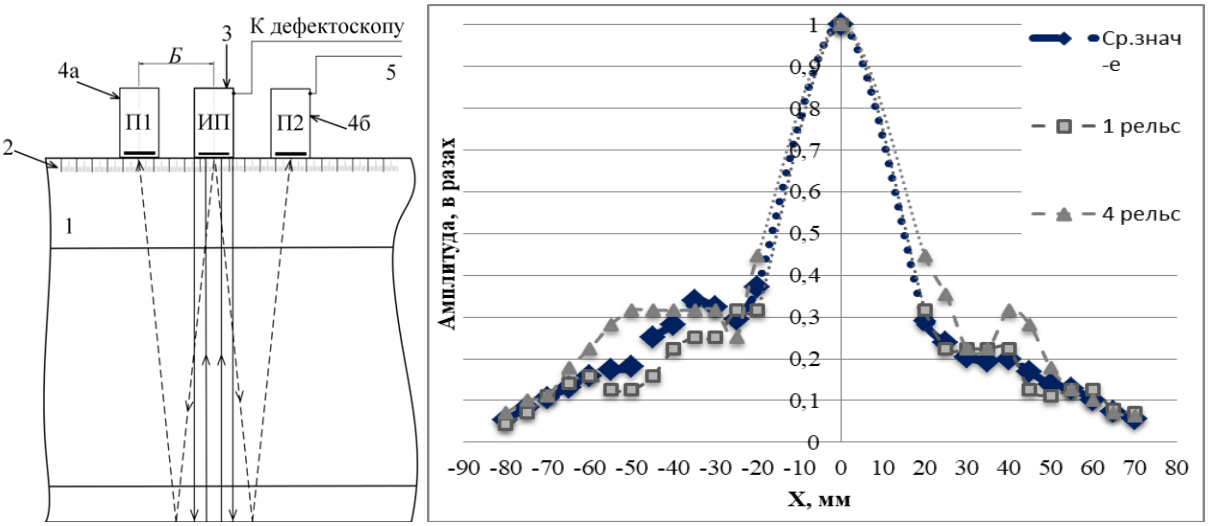


Рис. 1 - Схема экспериментальной установки (а) и зависимость амплитуды донного сигнала от расстояния между излучателем и приемником (б):
1 – рельс Р65; 2 – измерительная шкала, нанесенная на боковую грань головки рельса; 3 – основной ПЭП с α = 0°; 4а, 4б – дополнительные ПЭП с α = 0°; 5 - дефектоскоп АВИКОН-02Р

В результате эксперимента выяснено, что амплитуда донного сигнала на дополнительном ПЭП уменьшается до уровня 0,18 и 0,14 (рис.1,б) при изменении расстояния между излучателем и приемником от 20 до 50 мм. Действительный уровень сигнала равен примерно $0{,}2U_0$, что достаточно для использования его в практических целях.

Применяем способ обработки сигналов, предложенный в работе [8] для реализации ЗТМ при наклонном вводе ультразвуковых колебаний (УЗК). Один из вариантов повышения помехозащищенности представлен на рис. 2.

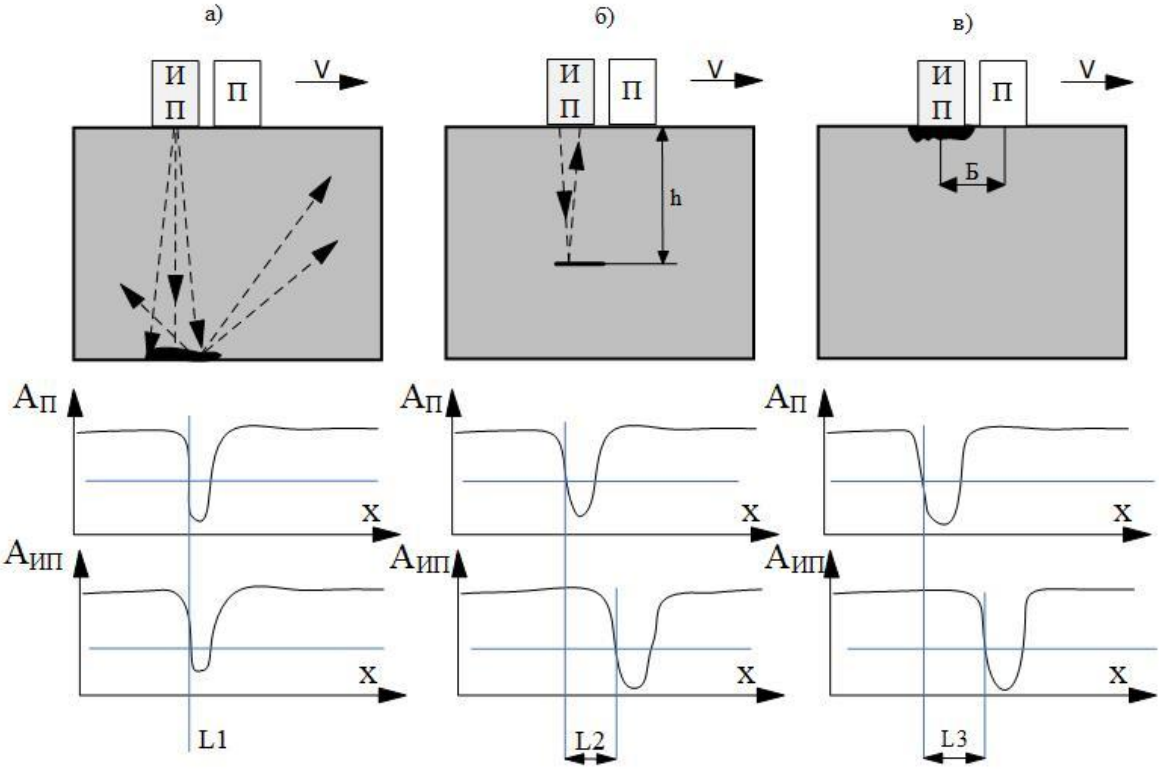


Рис. 2 - Выявление причины ослабления д.с. с использованием расстояния между передними фронтами огибающей д.с. каждого преобразователя:
а) коррозия подошвы; б) внутренний дефект; в) поверхностный дефект либо загрязнение

При прямом вводе УЗК по величине L возможно определить причину, вызвавшую ослабление огибающей д.с.

Глубина h залегания дефекта в изделии с эквидистантыми поверхностями высотой H:

$$h = H\left(1 - L/Б\right), \qquad (1)$$

где Б – базовое расстояние между излучателем и приемником.

Для случаев, рассмотренных на рис.2. получаем:

- $h_а = 180(1 - 0/20) = 180\,мм$ – коррозия подошвы;
- $h_б = 180(1 - 10/20) = 90\,мм$ – внутренний дефект;
- $h_в = 180(1 - 20/20) = 0\,мм$ – поверхностный дефект, загрязнение.

Общее правило для определения причины ослабления д.с. может выглядеть следующим образом: L = 0 – коррозия подошвы, 0 < L < Б – внутренний дефект; L = Б – поверхностный дефект.

Выводы:

Рассмотренный выше способ повышения помехозащищенности позволяет более уверенно принимать решение о причине ослабления донного сигнала, тем самым акцентируя внимание на выявлении внутренних дефектов в объекте контроля, приводящих к потере работоспособности изделия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 3: Ультразвуковой контроль / И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. – М. Машиностроение, 2004. - 864 с.
2. Неразрушающий контроль рельсов при их эксплуатации и ремонте / А.К. Гурвич, Б.П. Довнар, В.Б. Козлов и др.– М.: Транспорт, 1983. – 318 с.
3. *Марков А.А.* Дополнительный признак дефекта при ультразвуковом контроле рельсов / А.А. Марков, Е.А. Максимова // Путь и путевое хозяйство, 2018, Т. 10, С. 2-8.
4. *Марков А.А.* Дефектоскопия рельсов. Формирование и анализ сигналов. Книга 2. Расшифровка дефектограмм [практическое пособие в двух книгах] / А.А. Марков, Е.А. Кузнецова. – СПб.: УльтраПринт, 2014. – 332 с.
5. Патент 2371716. Устройство повышения помехозащищенности ультразвукового контроля / А.В. Кириков, А.Н. Забродин, А.М. Кашин, К.Н. Макаренков Бюл.№8 от 20.03.2008.
6. *Буй В.Д.* Моделирование акустического тракта для малоракурсной ультразвуковой томографии при теневом контроле / В.Д. Буй, В.С. Макаров, А.И. Солдатов, А.А. Солдатов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2015, Т. 12(2), С. 216-220.
7. Ультразвуковая дефектоскопия рельсов. 2-е изд. перераб и доп. / А.А. Марков, Д.А. Шпагин. – СПб.: Образование – Культура, 2013. – 284 с.
8. *Гурвич А.К.* Зеркально-теневой метод контроля при непрерывном излучении ультразвуковых колебаний / А.К. Гурвич, А.А. Марков // Дефектоскопия, 1990, Т. 1, С. 22-32.

УДК 621.791

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КЕРАМИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА

Иванов Егор Иванович,
группа ТОА–16,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. В статье рассмотрены методы увеличения ресурса работоспособности керамического инструмента. Проведенный анализ методов повышения эксплуатационных свойств керамического режущего инструмента свидетельствует о постоянно проводящейся оптимизации состава традиционных марок керамики и расширением областей их применения, особенно при обработке труднообрабатываемых материалов.

Ключевые слова: режущая керамика; упрочнение поверхности; нанесение покрытий; структура керамики

METHODS TO IMPROVE THE PERFORMANCE OF CERAMIC TOOLS

Ivanov Egor,
group TOA –16,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. In the article methods of increasing the service life of ceramic tools are considered. The analysis of the methods of increasing the operational properties of ceramic cutting tools indicates the ongoing optimization of the composition of traditional ceramic grades and the expansion of their applications, especially in the processing of hard-to-cut materials

Keywords: cutting ceramics; surface hardening; coating; ceramic structure

В условиях развития современных технологий в металлообработке появился новый класс инструментальных материалов, который обладает достаточно высокими физико-механическими параметрами, необходимыми для обеспечения высокоскоростного точения и фрезерования [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Этим материалом является режущая керамика (рис. 1). Режущую керамику производители инструмента рекомендуют использовать при чистовой обработке серых, ковких, высокопрочных и отбеленных чугунов, а также для обработки сталей с различным содержанием легирующих элементов, в том числе улучшенных или термообработанных (твердость до HRC 55…60). Так

же режущую керамику можно применять для обработки различных цветных сплавов, композитных и полимерных материалов [1, 4, 5,].

Рис. 1 - Режущая керамика

Различают четыре основных типа режущей керамики [3, 4, 6]:

- Оксидная (белая) керамика (ВО-13, ВШ-75). В своем составе содержит 99% Al_2O_3.
- Оксидно-карбидная (черная) керамика. Она основана на композите Al_2O_3+TiC (где Al_2O_3 – 75%, TiC – 15%, остальное – карбиды вольфрама и молибдена).
- Оксидно-нитридная керамика. Данный вид керамики основан на Al_2O_3 + TiN (Al_2O_3 - 60% и более, остальное - TiN).
- Нитридная керамика. Данный вид керамики основан на Si_3N_4.

Главной особенностью режущей керамики является ее высокий предельный уровень скорости резания. При замене твердосплавного инструмента керамикой скорость резания возрастает 1,5…8 раз, что позволяет увеличить производительность обработки в 1,5…2,5 раза, при этом улучшается качество обработанной поверхности [2, 4, 6].

Рис. 2 - Разрушение режущей керамики

Основными достоинствами керамики являются высокая твердость, в том числе и при нагреве, и износостойкость.

Однако при всех достоинствах керамика имеет ряд недостатков, которые существенно влияют на ее использование в качестве инструмента [3, 4, 6]. К таким недостаткам относиться высокая степень хрупкости и сравнительно малая прочность, что приводит к поломке инструмента при возникновении вибраций и прерывистом характере резания (рис. 2).

Для увеличения ресурса работоспособности за счет увеличения прочности керамического инструмента, снижения его хрупкости и стабилизации всей системы обработки [7, 8, 9, 10, 11, 12] предлагается рассмотреть несколько прогрессивных методов повышения эксплуатационных характеристик режущей керамики:

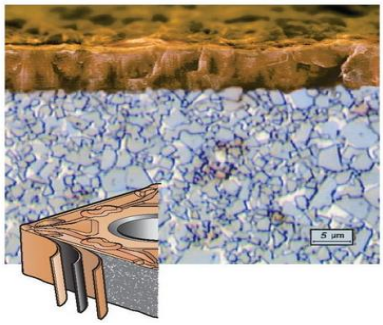


Рис. 3 - Нанесение износостойких покрытий на поверхность режущих пластин

- упрочнение поверхностного слоя керамических режущих пластин азотированием;
- нанесение износостойких покрытий на режущие керамические пластины (рис. 3);
- армирование внутренней структуры нитевидными монокристаллами.

Кроме этого для стабилизации температуры в зоне обработки при резании керамическим инструментом разработаны СОТС с

присадками из органических кислот и фуранонов, позволяющие увеличить диапазон скоростей резания.

Каждый из этих методов позволяет изменить в лучшую сторону физико-механические свойства режущих керамических пластин – увеличить их твердость и износостойкость и повысить прочность и термостойкость, что приводит к увеличению ресурса работоспособности инструмента, позволяет проводить обработку труднообрабатываемых материалов, обеспечивает необходимые параметры качества деталей обработанных при помощи керамики и стабилизирует процесс стружкообразования [13, 14, 15].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Халимоненко А.Д.* Точность обработки при точении заготовок режущим инструментом, оснащенным сменными керамическими пластинами / А.Д. Халимоненко, Р.В. Вьюшин // Записки горного института. 2014. Т. 209. С. 99-103.
2. *Maksarov V.V.* Quality assurance during milling of precision elements of machines components with ceramic cutting tools / V.V. Maksarov, A.D. Khalimonenko // International Review of Mechanical Engineering, 2018, Vol. 12 (5), C. 437-441.
3. *Максаров В.В.* Влияние структурных параметров режущей керамики на работоспособность инструмента при обработке прецизионных поверхностей деталей горных машин / В.В. Максаров, А.Д. Халимоненко // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2017, Т. 8 (1), С 56-64.
4. *Халимоненко А.Д.* Анализ устойчивости работы многолезвийного инструмента, оснащенного режущей керамикой / А.Д. Халимоненко, Т.С. Голиков // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME-2017. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, 2017, Т. 1, С. 305-308.
5. *Максаров В.В.* Обеспечение качества при фрезеровании режущей керамикой точных элементов узлов и деталей машин / В.В. Максаров, А.Д. Халимоненко // Современное машиностроение. Наука и образование. 2017, № 6, С. 572-582.
6. *Maksarov V.V.* Stability analysis of multipoint tool equipped with metal cutting ceramics / V.V. Maksarov, A.D. Khalimonenko, K.G. Matrenichev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 87, C. 82030.
7. *Тимофеев Д.Ю.* Повышение точности изготовления прецизионных поверхностей детали шток гидроцилиндров / Д.Ю. Тимофеев, А.Е. Ефимов // Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, С. 142-145.
8. *Maksarov V.V.* Simulation of dynamic processes when machining transition surfaces of stepped shafts / V.V. Maksarov, R.V. Viushin, V.A. Krasnyy // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, Vol. 327, 022047.

9. *Mavliutov A.R.* Optimization of cutting parameters for machining time in turning process / A.R. Mavliutov, E.G. Zlotnikov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, Vol. 327, 42069.
10. *Ershov D.Y.* Dynamic processes in technological systems of machining and the nature of their origin / D.Y. Ershov, E.G. Zlotnikov, L.E. Koboyankwe // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 87 (8), 82016.
11. *Maksarov V.* Machining quality when lathing blanks with ceramic cutting tools / V. Maksarov, A. Khalimonenko, D. Timofeev // Agronomy Research, 2014, V. 12 (1), C. 269-278.
12. *Maksarov V.V.* Forecasting performance of ceramic cutting tool / V.V. Maksarov, A.D. Khalimonenko // Key Engineering Materials, 2017, V. 736, C. 86-90.
13. *Тимофеев Д.Ю*. Повышение качества изготовления деталей из титановых сплавов с применением метода предварительного локального пластического деформирования / Д.Ю. Тимофеев, Е.В. Кошелева // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME-2017. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, 2017. Т. 1, С. 302-305.
14. *Злотников Е.Г.* Выбор технологической схемы переработки металлической стружки в автоматизированном производстве / Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, С. 91-93.
15. *Злотников Е.Г.* Современные технологии переработки и брикетирования металлической стружки в автоматизированных производствах / Е.Г. Злотников, В.В. Максаров // Записки Горного института, 2014, Т. 209, С. 36-38.

УДК: 621.314 П 57

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АВТОМАТИИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА СИЛОВОГО МАСЛОНАПОЛНЕННОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Иванова Татьяна Сергеевна,
группа ЭРАМ-17,
Санкт-Петербургский горный
университет

Аннотация. Исследовались существующие методы диагностики и контроля остаточного ресурса силового трансформатора. Представлены результаты разработки новой системы диагностики, которая внедряется в иерархическую структуру автоматизированной системы мониторинга и управления трансформаторами (АСМУТ), реализуется посредством интеллектуального анализа ошибок, на базе неявной логики. Создан алгоритм, использующий иерархическую структуру древовидного типа, который переводится в программный код, оперируя нечёткими множествами и вводя лингвистические переменные. Показан принцип работы системы на выбранных диагностических параметрах силового масляного трансформатора

Ключевые слова: силовой трансформатор; диагностика; мониторинг; остаточный ресурс; нечеткая логика; С++; нейронные сети; АСМУТ

DEVELOPMENT OF THE TECHNIQUE OF DIAGNOSTICS OF POWER OIL FILLED TRANSFORMER AND DETERMINATION OF ITS RESIDUAL RESOURCE

Ivanova Tatyana Sergeevna ,
group ERAM-17,
Saint-Petersburg Mining University

Abstract. The existing methods of diagnostics and control of the residual life of a power transformer are investigated. The results of the development of a new diagnostic system, which is embedded in the hierarchical structure of the automated system for monitoring and control of transformers (ASMCT), are implemented through intelligent error analysis, based on implicit logic. An algorithm has been created that uses a hierarchical structure of a tree type, which is translated into program code, operating with fuzzy sets and introducing linguistic variables. The principle of the system operation on selected diagnostic parameters of a power oil transformer

Keywords: a power transformer; diagnosis; monitoring; residual resource; fuzzy logic; C ++; neural networks; ASMCT

Экономичность функционирования и надёжность работы электрической сети, электростанций и энергосистем в большей степени зависят от работы силовых трансформаторов. Отказы в работе или аварийные отключения силовых трансформаторов (СТ) приводят к экономическим убыткам, они связаны как с необходимостью восстановления трансформатора, так и с перерывом в электроснабжении потребителей.

Диагностические признаки.

Основные элементы силового трансформатора (рис. 1) делятся на два типа. Механические: корпус, система охлаждения, расширительный бак. Электрические: обмотка, магнитопровод, кабельный ввод.

Рис. 1 - Основные элементы силового трансформатора

Создание алгоритма обработки сигналов с датчиков трансформатора.

Выбираем 16 параметров датчика для ТДТН-63000/110. Обозначены самые распространённые неисправности обмоток СТ. Ниже представленная схема обозначает алгоритм метода диагностики для выявления дефекта. Использование условий внутри блоков позволяет выяснить в каком диапазоне находится значение параметра и позволяет ли отклонение состоять объекту в рабочем состоянии. Представленный алгоритм указывает связь от испытания, наблюдаемым параметром, значение которого указывает на наличие неисправности, также отражает цикличность опытов. Согласно блок-

схеме, когда измерение параметров окончено, начинается проверка соответствия диапазону рабочего состояния, если обнаруживается несоответствие, дефект определяется при проверке дальнейших опытов этого параметра. При соответствии диапазону рабочего ТС параметров, осуществляем обработку следующих параметров.

Алгоритм диагностики трансформатора на базе нечеткой логики.

Новизна в созданной системе с интеллектуальным анализом ошибок при диагностировании трансформатора осуществляется использованием базы правил неявной логики. В алгоритме такого типа задействованы операнты нечетких множеств, введены лингвистические переменные, после чего такое представление переводится в программный код для обработки поступающих данных. Неявное множество обладает неявными границами своей области принадлежности. Когда элемент переходит от одного к другому множеству, принадлежность меняется плавно.

Неявное множество определяется через парные совокупности, представляет собой выражение А через множество Х:

$$A = \frac{\mu_A \cdot x}{x}, \qquad (1)$$

Характеристическая функция $\mu_A \cdot x$, равняется 1, когда характеристический признак R относится к x, и 0 – в противоположном случае, если x не удовлетворяет данному свойству. Насколько элемент x принадлежи подмножеству А, настолько это выражает функция принадлежности μ_A (от 0 до 1). Если неявное подмножество $\mu_A = 0$, то оно принимается четким, в противном случае - принимается обычным.

Структурная Иерархическая схема нечёткого логического вывода для СТ представлена на рис. 2.

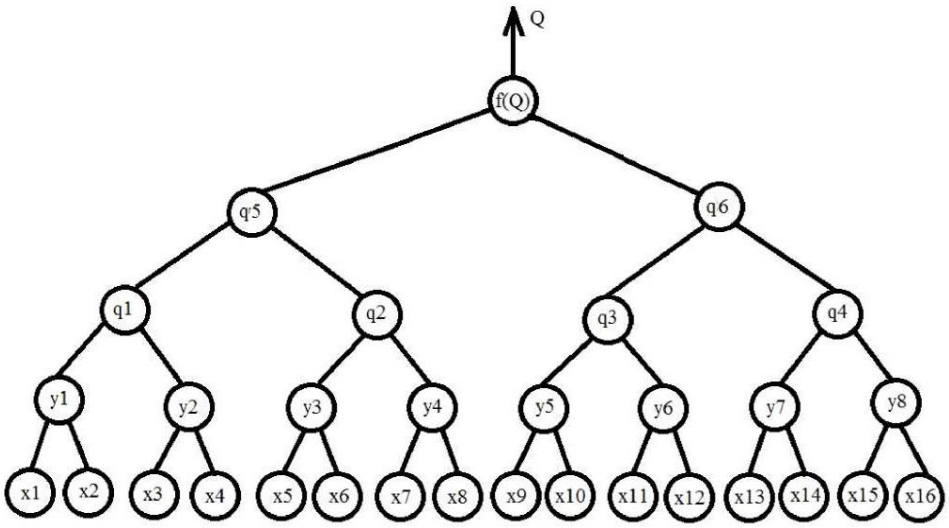


Рис. 2 - Структурная Иерархическая схема нечёткого логического вывода для СТ: x_1-x_{16} - входные диагностические факторы системы; y_i - промежуточные параметры; Q - выход системы

Формула приведения входных параметров произвольного диапазона , который необходимо обозначить при вводе кода, к значениям в диапазоне [-100; 100]:

$$X_n = X_{n_\min} + \frac{(X_{in} - (X_{in_\min})) \cdot (X_{\max_n} - X_{\min_n}))}{X_{in_\max} - X_{in_\min}}, \qquad (2)$$

Чтобы определить остаточный ресурс СТ при помощи нечёткой логики воспользуемся программной средой MatLab Fuzzy Logic Toolbox.Посредством ветвей дерева соединенных согласно иерархии, выполняется неявный вывод результата. Начало работы функции осуществляется посредством вызова 16 входов с дискретными значениями, параметры x_1 - x_{16} присваивают себе заданные значения. Числа факторов от x_1 до x_{16} можно представить в виде чисел, можно видеть в качестве терм: 'Н' - низкий; 'НС' - ниже среднего; 'С' - средний; 'ВС' - выше среднего; 'В' - высокий. Операцию в узле графа выполняет gaussmf гауссовская функция принадлежности, когда рождается логический вывод с неявными входными данными. Оператор из набора пакета qual_inp_gauss выполняет определение оценки принадлежности одного неявного подмножества к иным. Оператор evalfis осуществляет логику вывода в интерфейс результата, с таким оператором при потоке неявных данных предупреждений не возникает.

Листинг программы в matlab неявного показа остаточного ресурса трансформатора в зависимости от 16 входных факторов:

Нормализация параметров к нужному диапазону.

```
[x2n]=xnmin+(x2-x2min)*(xnmax-xnmin)/(x2max-x2min);
disp(strcat('x1n=',num2str(x1n)));
disp(strcat('x2n=',num2str(x2n)));
x3n=xnmin+(x3-x3min)*(xnmax-xnmin)/(x3max-x3min);
disp(strcat('x3n=',num2str(x3n))); …
x16n=xnmin+(x16-x16min)*(xnmax-xnmin)/(x16max-x16min);
disp(strcat('x16n=',num2str(x16n)));
```

Логический вывод промежуточного параметра.

```
fisy1=readfis('y1_1');
inputs=[x1n,x2n];
[y1]=evalfis(inputs, fisy1);
disp(strcat('y1=',num2str(y1)));
…
fisq2=readfis('q2_1');
inputs=[y3,y4];
[q2]=evalfis(inputs, fisq2);
disp(strcat('q2=',num2str(q2)));
```

Выход системы.

```
[Q]=evalfis(inputs, fisQ);
disp(strcat('Q=',num2str(Q)));
```

Ниже представлены образцы рабочих окон составления базы знаний с помощью Fuzzy Logic Toolbox (рис. 3, 4).

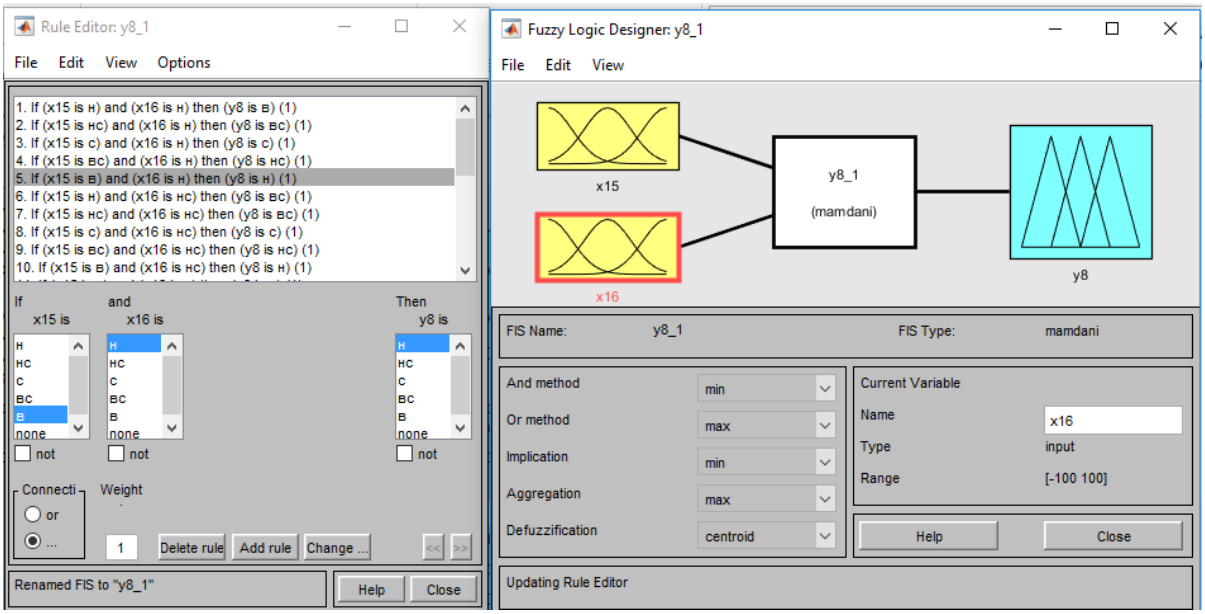


Рис. 3 - Нечеткая база знаний для y_8 типа Mamdami (файл .fis) и база знаний Rule Editor нечеткой системы для y_8

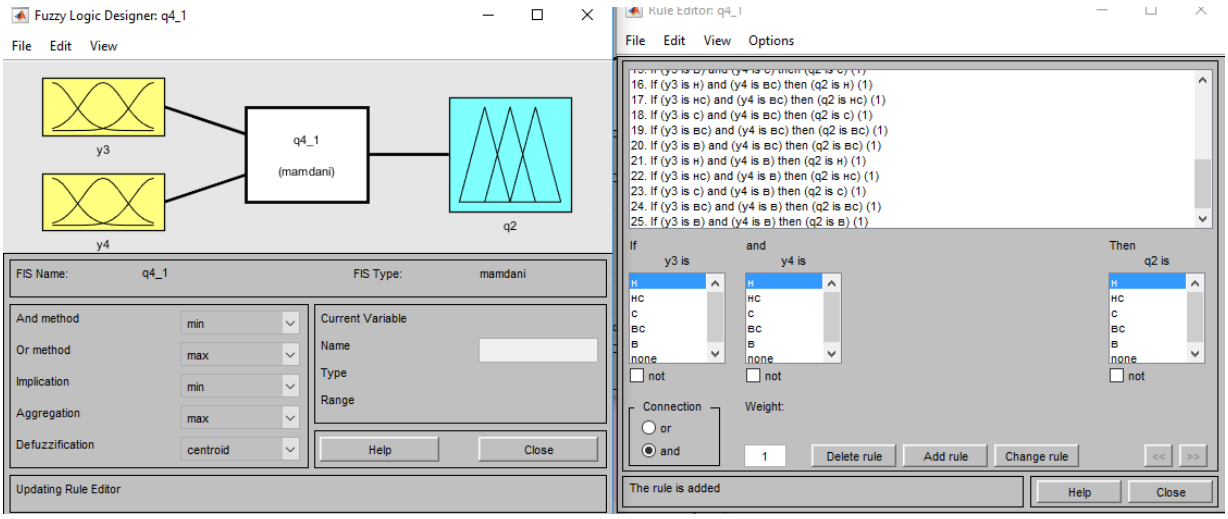


Рис. 4 - Нечеткая база знаний для q_8 типа Mamdami (файл .fis) и база знаний Rule Editor нечеткой системы для q_4

В созданной программе возможно рассмотрение любого количества входных факторов для определения остаточного ресурса СТ, а также. Ниже представлен предварительный результат работы системы нечёткого моделирования остаточного ресурса СТ в зависимости от влияющих факторов. Сложность построения системы по программному коду выше, чем при использовании среды Matlab/Simulink, так как при составлении матриц рабочих файлов учитывается вся нечеткая база знаний.

Для перевода приращения остаточного ресурса Q силового трансформатора из диапазона [-100; 100] в диапазон от 0 до 207360 часов:

$$Q' = X_{\min} + \frac{(Q-(X_{\min}))\cdot(X_{\max_n} - X_{\min_n}))}{X_{\max} - X_{\min}} + = -49{,}5 + \frac{(Q-(-49{,}5))\cdot(207360-0))}{41{,}7-(-49{,}5)}.$$

Значение остаточного ресурса в часах можно посчитать по формуле разности:

$$207360ч - Q',$$

где Q ' – приращение остаточного ресурса силового трансформатора;
207360 ч - срок службы трансформатора в часах, равный 24-ем годам.

Xmin - минимальное число из диапазона [-100; 100];

Xmax - максимальное число из диапазона [-100; 100].

Результат работы системы нечёткого моделирования остаточного ресурса СТ при условии ухудшения его состояния и зависимость приращения ОР от состояния трансформатора и зависимость ОР в часах в зависимости от состояния СТ представлены на рис. 5 и 6.

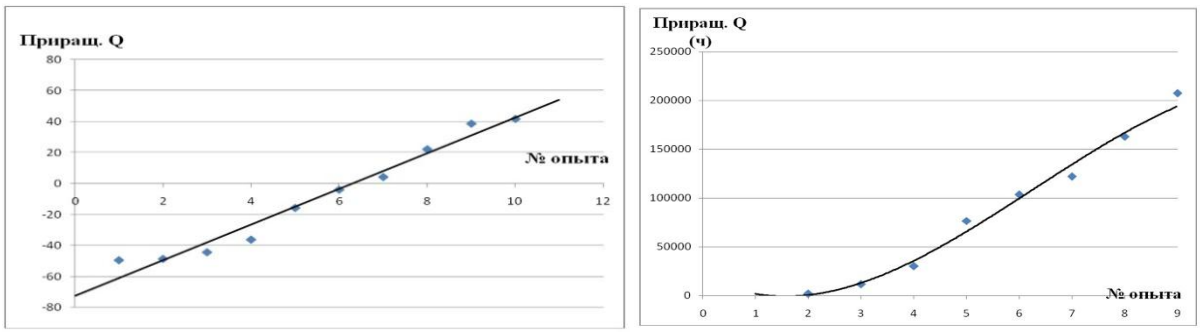


Рис. 5 - Результат работы системы нечёткого моделирования остаточного ресурса СТ при условии ухудшения его состояния и зависимость приращения ОР от состояния трансформатора

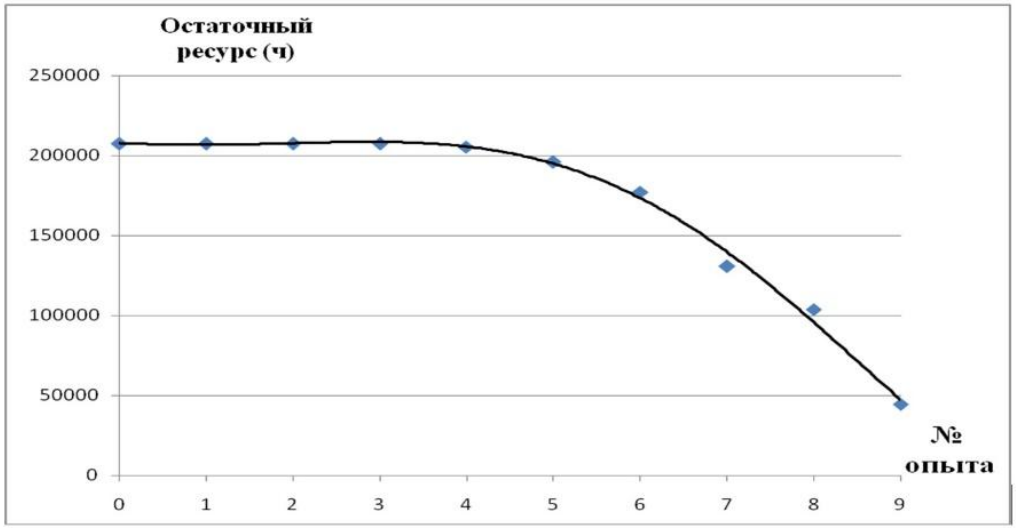


Рис. 6 - Зависимость ОР в часах в зависимости от состояния СТ

Заключение.

Для силового трехфазного трансформатора рассмотрены основные виды неисправностей и отказов. На основе анализа неисправностей и отказов выбраны диагностические признаки и составлен перечень контролируемых параметров. Построены схемы причинно-следственных связей неисправностей, диагностических признаков и параметров. Проведен анализ методик диагностики состояния СТ. Разработан принцип построения граф-модели для определения состояния СТ. Разработана методика оценки остаточного ресурса СТ. Представлены примеры практического использования методики оценки состояния трансформатора. Результат представляет зависимость изменения остаточного ресурса от выбранных параметров.

Алгоритм на основе нечеткой логики позволяет обрабатывать данные с .sql файла данных об эксплуатации трансформатора в продолжительности некоторого времени. Выделяется промежуток времени нестабильной работы СТ, данные с периода используются для построения модели Искусственной нейронной сети в программе Matlab: сбор данных, их предварительная обработка (нормализация и рандомизация), построение сети, ее обучение и проверка эффективности. Такая сеть используется для диагностики и прогнозирования значений параметров и ТС трансформатора.

Осуществленный разбор нынешних приемов и средств диагностирования и расчета остаточных часов СТ позволяет утверждать, что существующие приемы направлены на выявление уже зародившегося дефекта. Актуальной задачей является создание автоматизированной системы прогноза появления дефекта и поломки СТ предшествуя его констатацию на данный момент. Для простоты процесса оценки состояния силового трансформатора написан алгоритм на языке С++, программа может быть сконвертирована для другой системы, где используется данный язык программирования.

Вывод:

Предлагается использовать искусственные нейронные сети (ИНС), которые определяют вид повреждения по совокупным показателям, система реализуется с использованием нейронной сети структуры прямого распространения на основе радиально-базисной функции. Построение ИНС включает в себя следующие этапы: сбор данных, их предварительная обработка (нормализация и рандомизация), построение сети, ее обучение и проверка эффективности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Андреев К.А.* Проблемы устройств мониторинга и диагностики трансформаторов под нагрузкой / Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2012, Т. 44.

2. *Вдовико В.П.* Методология системы диагностики электрооборудования высокого напряжения / Электроэнергетика, 2015, Т. 4, С. 76–83.

3. *Костинский С.С.* Обзор состояния отрасли трансформаторного производства и тенденций развития конструкции силовых трансформаторов / Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2018.
4. *Саушев А.В.* Анализ методов диагностики аппаратов высокого напряжения / А.В. Саушев, Д.А. Шерстнев, Н.В. Широков // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова, 2017.
5. *Лила В.Б.* Экспертная система диагностики силовых трансформаторов / В.Б. Лила, А.В. Костюков // Инженерный вестник Дона, 2013, Т. 24(1), С. 22.
6. *Косач А.А.* Автоматизация обработки данных неразрушающего контроля на основе искусственной нейронной сети / А.А. Косач, Е.Е. Ковшов // Cloud of science, 2018, Т. 5(3).
7. *Попов Г.В.* Вопросы диагностики силовых трансформаторов. – Иваново: ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2012. - 176 с.
8. *Попова М.С.* Методика определения необходимого объёма выполнения диагностики асинхронных двигателей для прогнозирования остаточного ресурса с использованием нечёткой логики / М.С. Попова, А.А. Грибанов // Сборник трудов 12-ой Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь 2015». Барнаул. АлтГТУ, 2015, С. 53-56.
9. *Николаев А.А.* Локализация неисправностей трансформатора средствами акустической локации частичных разрядов / А.А. Николаев, Е.А. Храмшина, А.А. Николаев // Электротехнические системы и комплексы, 2018, Т. 1, 48 С.
10. *Утебаев Р.М.* Прибор для диагностики электропривода робота / Р.М. Утебаев, А.К. Тумабаева // Труды Международных Сатпаевских чтений, посвященных 80-летию КазНТУ имени К.И. Сатпаева «Роль и место молодых ученых в реализации стратегии «Казакхстан-2050», 2014, Т. III, С. 87-91.
11. *Фёдоров В.Л.* Критерий определения числа гармоник рядов Фурье, аппроксимирующих напряжения и токи трансформатора / Омский научный вестник, 2018, С. 182.
12. *Ячиков И.М.* Принятие решений о состоянии изоляции печного трансформатора с использованием обобщенного показателя на основе логики с нечеткими множествами / И.М. Ячиков, Т.П. Ларина, Е.А. Храмшина // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника», 2018, С. 81.
13. *Ховалова Т.В.* Эффекты внедрения интеллектуальных электроэнергетических сетей / Т.В. Ховалова, С.С. Жолнерчик // Стратегические решения и риск-менеджмент, 2018, С. 92.
14. *Кривоконева О.О.* Продление ресурса масляных трансформаторов с длительным сроком эксплуатации / О.О. Кривоконева [и др.] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия Энергетика, 2017, 60 С.

15 *Генин В.С.* Техническая диагностика электросетевого оборудования / В.С. Генин, Э.Н. Маркарова // Вестник Чувашского университета, 2017, С. 213
16. Шклярский Я.Э. Влияние графика нагрузки на потери в электрической сети предприятия / Я.Э. Шклярский, С. Пирог // Записки Горного института, 2016, Т. 222.
17. *Абрамович Б.Н.* Метод синтеза топологии систем электроснабжения предприятий минерально-сырьевого комплекса на основе логико-вероятностных оценок / Б.Н. Абрамович, С.В. Бабурин // Записки Горного института, 2016, Т. 218.
18. *Шонин О.Б.* Энергосберегающие алгоритмы частотного управления асинхронным приводом с уточнением области минимума потерь на основе методов нечеткой логики / О.Б. Шонин, В.С. Пронько // Записки Горного института, 2016, Т. 218.

УДК 620.3

НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОМАТЕРИАЛЫ В СОВРЕМЕННОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

Ивденко Екатерина Дмитриевна,
группа ТОА-16,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. В статье рассматривается вопрос формирования нанорельефных поверхностей машиностроительных изделий. Представлены результаты экспериментальных исследований по магнитно-абразивной обработке сложных профилей режущих инструментов.

Ключевые слова: нанотехнологии; наноматериалы; нанорельеф

NANOTECHNOLOGIES AND NANOMATERIALS IN MODERN ENGINEERING

Ivdenko Ekaterina,
group TOA-16
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. The article explains the possibility of forming nano-relief surfaces of mechanical engineering products. The results of experimental studies on the magnetic-abrasive processing of complex profiles of cutting tools are also presented.

Keywords: nanotechnology; nanomaterials; nanorelief

Начиная с последней четверти XX века приоритетными направлениями научных исследований стали разработки в области нанотехнологий [1, 14]. Под нанотехнологией понимаются технологические процессы и системы машин и механизмов, способные выполнять сверхточные операции в масштабе нескольких нанометров [1]. Известно, что микро- и нанорельф поверхностного слоя деталей машин формируется на окончательных стадиях технологического процесса изготовления деталей, т.е. на финишных операциях.

Обеспечение такого качественного уровня компонентов поверхностного слоя возможно путем создания прогрессивных технологий, основанных на использовании физических и химических источников энергии [1-6, 8, 10, 11-15]. Одним из таких источников является энергия магнитного поля, которая все чаще используется во многих областях техники. На основе использования энергии магнитного поля был разработан метод магнитно-

абразивной отделки, который позволяет формировать нанорельеф с уникальными свойствами [1, 2, 4-15].

Обработка этим методом состоит из ориентированной, а также селективной абразивной микрорезки и микросглаживания. Суть этого процесса заключается в том, что при относительно высоких значениях микровыступов зерна порошка контактируют в основном с пиками оболочки, которые являются концентраторами линий магнитного поля. Каждый рабочий элемент (зерно) в магнитном поле установлен наибольшей осью к обрабатываемой поверхности. Во время изнашивания и притупления вершин элемент переориентируется таким образом, что вновь сформированная наибольшая ось направляется вдоль линий магнитного поля. В результате поверхность заготовки обрабатывается острыми кромками, т.е. происходит процесс ориентированной абразивной резки [1, 2, 11-15]. Эта особенность магнитно-абразивной отделки дает огромные преимущества по сравнению с традиционными методами отделочных работ.

В механическом отделе лаборатории станков с ЧПУ, в Санкт-Петербургском горном университете, были проведены экспериментальные исследования по магнитно-абразивной обработке сложных профилей режущих инструментов. В качестве образцов были взяты машинные метчики М16×2 из быстрорежущей стали Р6М5. Для формирования магнитно-абразивной щетки в рабочем пространстве электромагнитной установочной системы, базируемой на фрезерном станке с ЧПУ, использовался порошок на основе карбида титана и железа (TiC + Fe) [4-6, 11-13].

Наилучший результат был получен при магнитно-абразивной обработке с зернистостью порошка $\Delta = 160$ мкм, магнитной индукцией $B = 0{,}6$ Тл, временем полировки $t = 60$ с. Параметр шероховатости задних поверхностей режущих кромок метчиков был достигнут в пределах $Ra = 0{,}061...0{,}09$ мкм (61...90 нм) с исходным значением $Ra = 0{,}16...0{,}22$ мкм [11-13, 16].

С использованием магнитно-абразивных порошков с меньшей зернистостью, выбором режимных параметров и увеличением времени чистовой обработки поверхностей режущих инструментов можно получить нанорельеф с параметром шероховатости 40÷10 нм. Преимущества метода магнитно-абразивной обработки включают в себя формирование поверхностного слоя с благоприятными сжимающими напряжениями и повышенной микротвердостью, значительное уменьшение количества поверхностных дефектов, высокую производительность и возможность автоматизации процесса.

В заключение можно сказать, что магнитно-абразивная обработка обладает огромным технологическим потенциалом. Уникальная комбинация комбинированного воздействия импульсов магнитного поля на структуру материала и «мягких» режимов удаления дефектного поверхностного слоя позволяет формировать поверхность с минимумом дефектов и высокопроизводительными свойствами, такими как устойчивость к коррозии, износ и механические нагрузки, магнитно-абразивным методом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Акулович Л.М.* Основы магнитно-абразивной обработки металлических поверхностей / Л.М. Акулович, Л.Е Сергеев, В.Я. Лебедев. – Минск: БГАТУ, 2012. – 316 с.
2. *Акулович Л.М.* Технология и оборудование магнитно-абразивной обработки металлических поверхностей различного профиля / Л.М. Акулович, Л.Е. Сергеев. – Минск: БГАТУ, 2013. – 372 с
3. *Бевза В.Ф.* Применение метода направленного затвердевания для повышения качества трубчатых заготовок из различных чугунов / В.Ф. Бевза, В.П. Груша, В.А. Красный / Металлург, 2018, Т. 6, С 36-44.
4. *Максаров В.В.* Технологическое обеспечение шероховатости резьбовых поверхностей посредством предварительного магнитно-абразивного полирования метчика / В.В. Максаров, А.И. Кексин // Металлобработка, 2018, Т. 2, С 35-40.
5. *Максаров В.В.* Технологическое повышение качества сложнопрофильных поверхностей методом магнитно-абразивного полирования / В.В. Максаров, А.И. Кексин // Металлообработка, 2017, Т. 1(97), С 47-57.
6. *Максаров В.В.* Повышение эффективности технологического процесса изготовления внутренних резьб в изделиях горных машин / В.В. Максаров, А.И. Кексин, С.А. Ткаченко / Металлообработка, 2016, Т. 2(92), С 27-34.
7. *Марукович Е.И.* Повышение эксплуатационных свойств ответственных деталей горных машин из легированных чугунов / Е.И. Марукович, В.Ф. Бевза, В.П. Груша, В.А. Красный / Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2016. Т. 10, С. 48-60.
8. *Хомич Н.С.* Магнитно-абразивная обработка изделий. – Минск: БНТУ, 2006. – 218 с.
9. *Шевченко Л.Б.* Информационные ресурсы нанотехнологий. URL:http://cyberleninka.ru/article/n/informatsionnye-resursy-po-nanotehnologiyam
10. *Efimov A.E.* Technological quality assurance of hydraulic cylinder stock manufacturing based on high-energy impact on product surface / A.E. Efimov, V.V. Maksarov, A.I. Keksin / Advances in engineering research, 2018, Vol. 177(1), C 321-327.
11. *Maksarov V.V.* Technology of magnetic-abrasive finishing of geometrically-complex products / V.V. Maksarov, A.I. Keksin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, Vol. 327(4).
12. *Maksarov V.V.* Forming conditions of complex-geometry profiles in corrosion-resistant materials / V.V. Maksarov, A.I. Keksin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 194(4).
13. *Olt J.J.* Internal thread cutting process improvement based on cutting tools treatment by composite powders in a magnetic field / J.J. Olt, V.V. Maksarov, A.I. Keksin / Journal of Silicate Based and Composite Materials, 2018, Vol. 704, C. 128-131.

14. *Sunil Jha*. Nano-finishing techniques / Jha Sunil, V.K. Jain.
URL: https://brnskll.com/wp-content/uploads/2012/03/nanofinishing.pdf.
15. *Taniguchi N*. Current status in, and future trends of ultraprecision machining and ultrafine material processing / Annals of CIRP, 1983, Vol. 32(2), C. 573-582.
16. *Максаров В.В.* Влияние структурных параметров режущей керамики на работоспособность инструмента при обработке прецизионных поверхностей деталей горных машин / В.В. Максаров, А.Д. Халимоненко // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2017, Т. 8 (1), С 56-64.

УДК 004.054

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ИМИТАЦИОННОГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

Ильин Александр Владимирович,
Гадеев Роберт Азатович,
группа ЭРБ-16,
Санкт-Петербургский горный университет, кафедра электроэнергетики и электромеханики

Аннотация. В статье была освящена проблема отсутствия оптимизации имитационного моделирования. Были выбраны критерии оценки качества моделирования электрических машин на базе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Было выполнено имитационное моделирование с учетом выбранных математических моделей для системы управления электроприводом. В результате сравнительного анализа с учётом выбранных критериев была выбрана наиболее оптимальная модель.

Ключевые слова: имитационная математическая модель; качество моделирования; асинхронный двигатель; точность; экономичность; универсальность; оптимальность

QUALITY ASSESSMENT OF IMITATIVE MATHEMATICAL MODELING OF AN ASYNCHRONOUS MOTOR WITH A SHORT-CURCUITED ROTOR

Ilyin Alexander Vladimirovich,
Gadeev Robert Azatovich,
group ERB-16,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Electric Power Engineering and Electromechanics

Abstract. Problem of lacking imitative modeling optimization was discovered in this article. Criteria of quality assessment of electric machines based on asynchronous motor with short-circuited rotor modeling have been chosen. As a result of comparison, the most optimal model have been chosen.

Keywords: imitative mathematical model; simulation quality; asynchronous motor; accuracy; economy; versatility; optimality

Наиболее распространенным видом электродвигателя в промышленности является трехфазный асинхронный двигатель, он занимает более 80% производимых мощностей [1]. Широкое применение объясняется простотой эксплуатации и надежностью конструкции. Кроме того, применение преобразователей частоты с асинхронным двигателем позволяет увеличить эффективность электропривода в части энергосбережения и качество регулирования скорости и момента [2]. Имитационное моделирование широко используется в электротехнике и промышленности, что позволяет ускорить процессы проектирования и отладки систем автоматического управления электроприводом. Также имитационное моделирование используется, когда нужно учесть случайные переменные, или поведение модели во времени. Оно позволяет решить задачи при условии того, что проведение эксперимента на реальной модели слишком дорого.

Имитационное моделирование имеет применение не повсеместно, и, так как носит прикладной характер, ему не уделяется достаточно внимания [3]. Основная проблема сегодня заключается в использовании неоптимизированных моделей. К примеру, на предприятии, где проектируют электродвигатели, используют среды для имитационного моделирования с неоправданно сложными и громоздкими моделями, ввиду отсутствия их оценки. Это приводит к тому, что количество итераций и объем файлов увеличивается, и приводит к нерациональному использованию пространства физической памяти на компьютерах, а также времени на компиляцию моделей. При этом вопросы по оценке качества имитационных моделей являются актуальными и вызывают интерес. Оценка качества модели отражает степень ее соответствия реальной системе. Она может быть проведена только, если у исследователя есть возможность сопоставить результаты прогона модели с работой реальной системы. Алгоритм проверки адекватности модели состоит в сравнении выходных параметров модели с реальной системой при одинаковых воздействиях.

Особый интерес вызывают модели асинхронных двигателей, которые позволяют спроектировать как сам электродвигатель, так и систему управления. В литературе встречаются множество вариантов моделей АД для различных целей. В ходе литературного обзора были отобраны имитационные модели асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором для математического моделирования прямого пуска привода. Средой моделирования был выбран пакет программ MATLAB со встроенной библиотекой Simulink.

Первой отобранной моделью стал готовый блок Asynchronous Machine SI units, расположенный в программе MATLAB [4, 5]. Вторая модель выбрана из методических указаний Васильева А.Н. [6]. Третья модель взята из 3 выпуска журнала «Молодой ученый» 2011 года [7]. Четвертая модель была найдена в учебнике Соколовского [8].

С целью оценки данных моделей были выбраны критерии [1, 9] согласно решению задачи оптимизации (рис. 1).

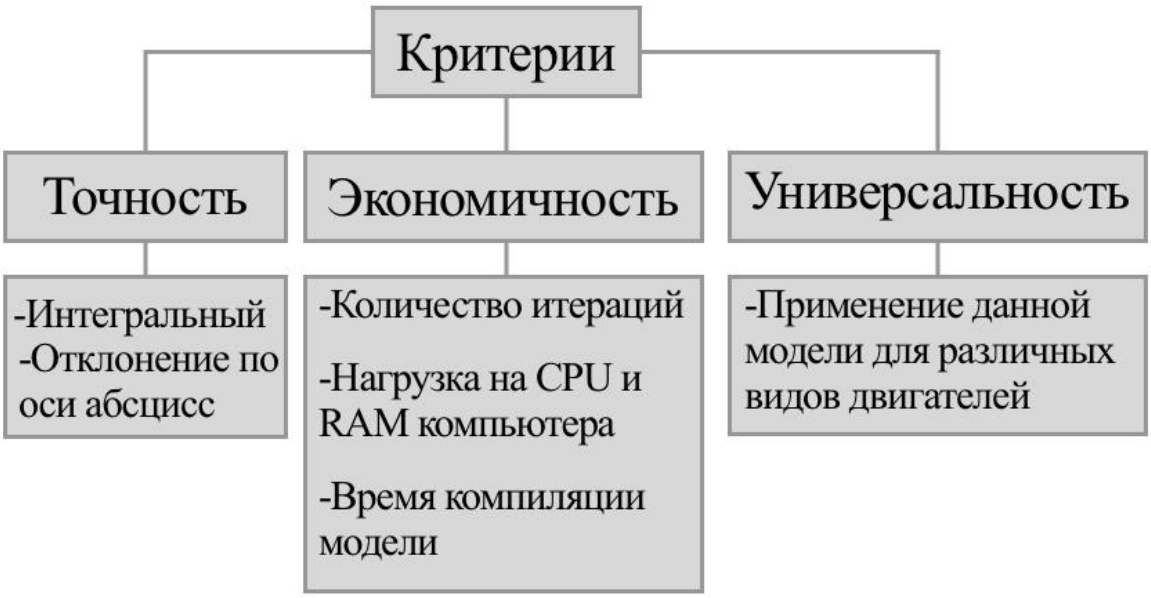


Рис. 1 - Классификация критериев оценки модели

Согласно источникам [4, 5, 6, 7, 8], была произведена сборка и имитационное моделирование выходных характеристик АД КЗ по паспортным данным V08B06U87 (табл. 1).

Таблица 1

Паспортные данные асинхронного двигателя V08B06U87

Номер параметра	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Наименова-ние параметра	$P_н$, *кВт*	*КПД*, *%*	*cos φ*	R_s, *Ом*	R_r, *Ом*	L_s *Гн*	L_r *Гн*	L_m *Гн*	*p*	s_n *%*	s_k *%*	J_d *кг м*^{2}
Значение	7	0.92	0.86	0.821	0.5	0.124	0.125	0.122	1	0.03	0.318	0.05

В результате моделирования были получены характеристики скорости вращения и момента двигателя при прямом пуске и питания от синусоидального напряжения 50 Гц (рис. 2).

В результате работы были воспроизведены имитационное математическое моделирование нескольких вариантов моделей АД и по полученным характеристикам оценено расхождение моделей по параметрам частоты вращения и момента. В связи, с чем можно сделать выводы о низкой точности моделей в области переходных процессов в электродвигателе, что связано ошибками в настройке, пуско-наладке устройств плавного пуска и преобразователей частоты.

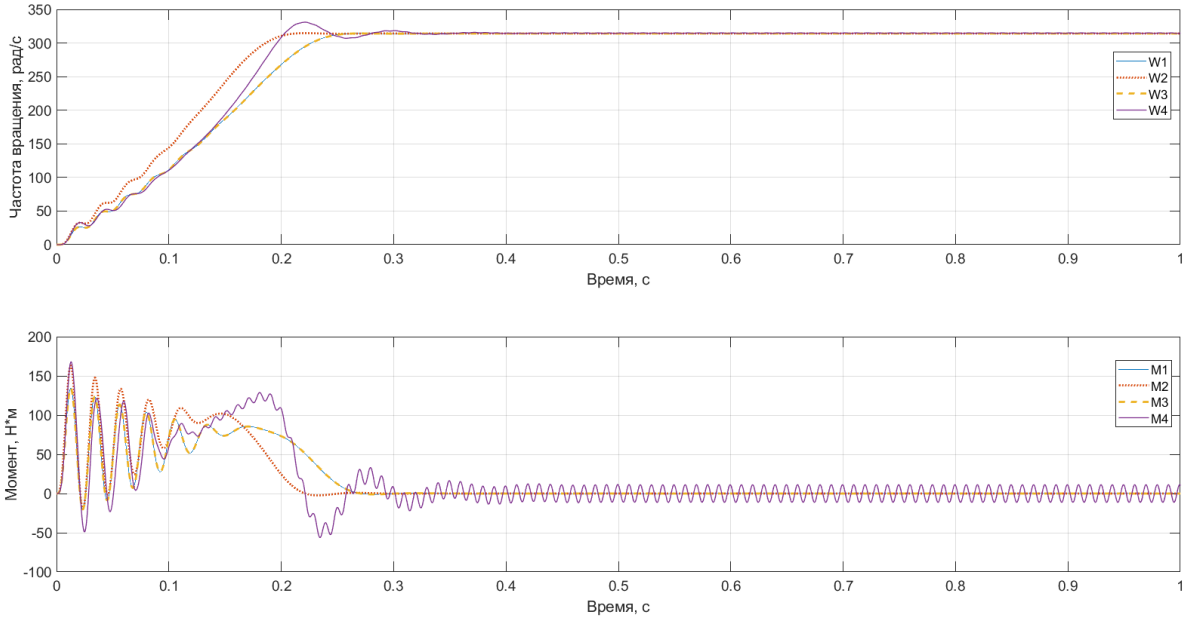


Рис. 2 - Выходные характеристики имитационных моделей:
W1, M1 – частота вращения, рад/с и момент, Н·м 1-модели АД; W2, M2 – частота вращения, рад/с и момент, Н·м 2-модели АД; W3, M3 – частота вращения, рад/с и момент, Н·м 3-модели АД; W4, M4 – частота вращения, рад/с и момент, Н·м 4-модели АД

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Козярук А.Е.* Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации / А.Е. Козярук, М.П. Белов, О.И. Зементов и др. - Москва: Издательский центр «Академия», 2006. – 386 с.
2. *Емельянов А.П.* Скалярное управление асинхронным короткозамкнутым двигателем по активной составляющей тока статора / А.П. Емельянов, Б.А. Чуркин // Вестник ЮУрГУ. Серия Энергетика, 2014, Т. 3, С. 85-90.
3. *Козярук А.Е.* Система обслуживания электромеханического оборудования машин и механизмов по фактическому состоянию / А.Е. Козярук, Ю.Л. Жуковский // Горное оборудование и электромеханика, 2014, Т. 10, С. 8-14.
4. *Герман-Галкин С.Г.* Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0. - СПб.: Корона принт, 2001. – 320 с.
5. *Черных И.В.* Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystem и Simulink. Москва: ДМК Пресс, 2008. – 288 с.
6. *Васильев Б.Ю.* Автоматизированный электропривод машин и установок горного производства. Расчет и моделирование автоматизированного электропривода скиповой подъемной установки: методические указания для самостоятельной работы студентов. – СПб.: Санкт-Петербургский горный университет, 2017. – 63 с.
7. *Емельянов А.А.* Математическая модель АД в неподвижной системе координат с переменными / А.А. Емельянов, А.В. Медведев, А.В. Кобзев, А.В. Медведев, А.В. Шепельков, Е.А. Зарубин, А.Н. Воробьев // Молодой ученый, 2011, Т. 3(1), С. 11-22.

8. *Соколовский Г.Г.* Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник для вузов. - Москва: Академия, 2007. – 265 с.
9. *Федорова З.А.* Применение явного метода с переменным порядком точности для моделирования систем электропривода / Вестник ИрГТУ, 2011, Т. 11(58) С. 194-199.

УДК 62-52

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭКСТРУЗИОННОЙ ЛИНИИ ПРОИЗВОДСТВА ЛИСТОВОГО ПЛАСТИКА С УСТАНОВКОЙ БЕСКОНТАКТНОГО ТОЛЩИНОМЕРА

Казаков Денис Юрьевич,
группа ТОА-15,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы, связанные с точным определением величины толщины листов пластика на выходе, автоматизацией процесса посредством бесконтактного емкостного измерителя, и установкой его на подвижную часть линии производства листового пластика, расчетом схемы протяжки пластика через вал-измеритель.

Ключевые слова: экструзия; экструзионная линии; контроль качества; ударопрочный полистирол; бесконтактный толщиномер; SBI; UNION

MODERNIZATION OF THE EXTRUSION LINE OF PLASTIC PRODUCTION BY INSTALLATION OF NON-CONTACT THICKNESS GAUGE

Kazakov Denis Yurievich,
group TOA–15,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. This article deals with the issues related to the precise determination of the thickness of plastic sheets at the output, automotion of the process by means of non-contact thickness gauge, its installation on the moving part of plastic production line and calculation of the plastic path through the thickness gauge shaft.

Keywords: extrusion; extrusion line; quality control; shockproof polystyrene; non-contact thickness gauge; SBI; UNION

На сегодняшний день полимерные материалы являются наиболее распространенными в применении. Однако для изготовления чего-либо из полимера необходимо использование специального оборудования. Таким оборудованием является комплекс устройств, которые имеют общее название экструзионная линия.

По своей сути, процесс экструзии представляет собой такое действие, посредством которого происходит так называемое выдавливание материала в необходимую форму. Весь комплекс оборудования, входящий в экструзионную линию, отвечает за полное и безостановочное преобразование материала в конечный продукт. В данной статье рассматривается производство листового пластика.

Важно то, что вся экструзионная линия является полностью автоматической и управление данным оборудованием происходит посредством задания определенной рабочей программы. Линия оснащена различными контроллерами и датчиками, которые производят контроль над всем производственным процессом, а так же следят за уровнем температуры, давления и других необходимых параметрах. Но при экструзии листового пластика замер толщины конечной продукции, как правило, происходит выборочно вручную оператором на выходе с линии. Таким образом, контроль качества продукции на выходе может осуществляться только на уже произведенной продукции, и в случае несоответствия заявленным допускам, отправляется в брак на переработку и повторную протяжку, что влечет за собой значительные временные потери и может стать причиной невыполнения установленного плана. Чтобы избежать подобной ситуации и осуществлять контроль качества продукции с возможностью его регулирования, необходимо установить толщиномер непосредственно за каландровой станцией, через которую происходит непрерывное формирование листа полимера.

Для толщиномера необходима стационарная установка и жесткая опора. Однако часто встречается оборудование с вертикальным расположением валов каландра. Так как экструдер также является стационарным узлом линии, для его настройки необходимо делать каландр мобильным, устанавливать его на рельсы и отодвигать на 1…1,5 м, что не позволяет поставить толщиномер отдельно. Таким образом, возникает проблема установки последнего на мобильный участок линии. Расчеты и моделирование были проведены по определенному оборудованию, а именно для экструзионной линии итальянской компании UNION и автоматического толщиномера серии KAPA фирмы SBI [1, 2]. Материалом для изготовления листового пластика в рассмотренном случае является ударопрочный полистирол.

KAPA - это самая распространенная модель толщиномеров SBI. Толщиномеры данной серии предназначены для измерения пленок толщиной до 2 мм или листов до 6 мм. Бесконтактная непрямая измерительная система включает в себя сенсорную комбинацию из измерительного емкостного датчика и датчика вихревого потока. Замеряется образующаяся емкость между датчиком и измерительным валком, которая дополнительно корректируется измерением зазора, выполняемого сенсором вихревого потока. Вычисление толщины производится за счет сравнения полученного результата измерения с откалиброванным значением [1-3].

Для установки данного толщиномера есть определенное условие – для обеспечения корректного считывания показателей прибором угол захода и схода ленты листового пластика на вал измерителя должен быть не менее 15 градусов. На линии UNION за каландровой станцией располагается прямой конвейер, по которому тянется лента до пневматических ножей (рис.1, 2).

Рис. 1 – Потенциальное место установки измерителя

Рис. 2 – Каландровая станция

Было принято решение установить толщиномер именно на этом участке конвейера. В рабочем состоянии конвейер находится под углом 8 градусов от горизонта. При обычной врезке измерителя в конвейер максимально возможный угол не доходит и до 10 градусов относительно вершины вала. Для обеспечения необходимого угла захода и схода листа были произведены расчеты изгиба плоской ленты листового пластика с учетом модуля упругости, цилиндрической жесткости и коэффициента Пуассона используемого материала (ударопрочного полистирола). Используемое дифференциальное уравнение после упрощения имеет вид:

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} = \frac{1}{D}\left(q + \frac{S}{B}\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\right),$$

где S - максимальное натяжение ленты, Н; B - ширина ленты, м; q - сила давления со стороны ленты листового пластика на вальцы конвейера, Н/м^2;
D - цилиндрическая жесткость ленты, Н·м;

Данные расчеты позволили определить поведение ленты пластика при ее перегибе через вальцы конвейера [3, 4].

С учетом полученных результатов были внесены изменения в маршрут протяжки листа и в расположение вальцов конвейера. После проведенных расчетов, в программной среде Autodesk AutoCAD был смоделирован процесс протяжки пластика с установленным измерителем (рис. 3, 4). Заданный процесс подразумевает вынос прижимного валика над производимым полотном и его непосредственный контакт с лицевой поверхностью пластика, вследствие чего к прижимным валикам

предъявляются высокие требования точности формы и низкой шероховатости поверхности. Таким образом, возникает необходимость технологически обеспечить конструкторские требования по точности, шероховатости и твердости поверхности измерительного цилиндрического вала в процессе его изготовления [5-16].

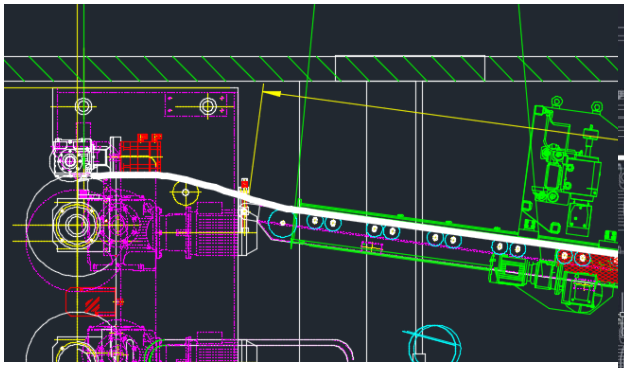


Рис. 3 – Схема исходной протяжки пластика

Рис. 4 – Схема конечной протяжки пластика

Затем необходимо было продумать схему крепления толщиномера непосредственно на рассчитанной части конвейера. При разработке конструкции системы крепления возникает конструкторская задача установки измерителя, так как на рассматриваемой линии ширина конвейера совпадает с расположением посадочных шпилей толщиномера. После проведения расчетов на изгиб бортов конвейера и расчетов на скручивание предварительной посадочной площадки измерителя, был спроектирован окончательный вариант установочной системы с учетом всех заданных параметров (рис. 5, 6). Изготовление крепежной системы толщиномера связано с реализацией технологических процессов резки и сварки листового металла, механической обработки комплектующих изделий и сборки. Для повышения общей эффективности производства предусматриваются решения по переработке отходов мехобработки [14, 15].

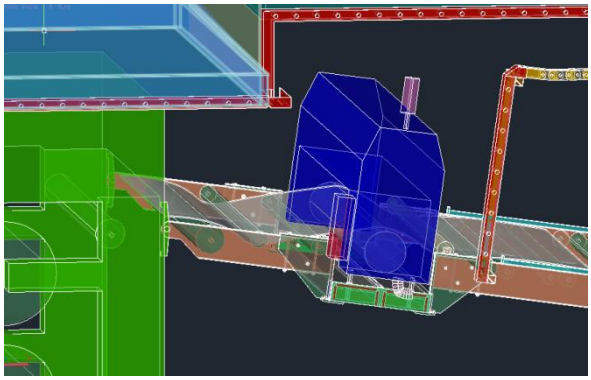


Рис. 5 – 3D визуализация экструзионной линии с установленным толщиномером

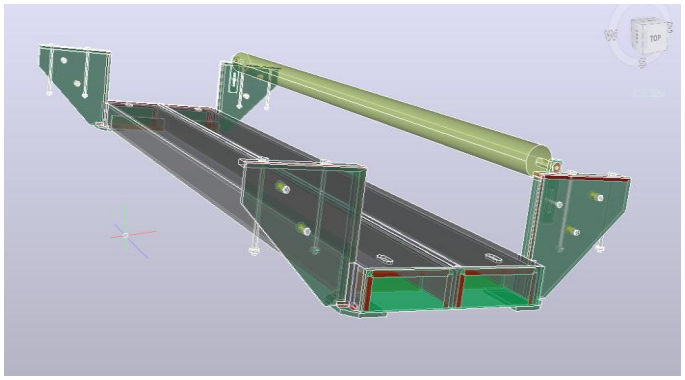


Рис. 6 – 3D модель крепежной системы толщиномера

Установка измерителя проходила в несколько этапов. В первую очередь были подведены все коммуникации (вода, воздух, электричество) к назначенному месту установки. Затем необходимо было вырезать

соответствующую часть конвейера. После чего, уже установленный на систему крепления измеритель монтировался в оборудование конвейера. Для надежности соединения крылья крепежа были приварены к несущей конструкции конвейера (рис. 7).

Рис. 7 - Установленный на линию толщиномер

После подключения и настройки стационарного компьютерного блока и калибровки толщиномера, на монитор выводятся периодические on-line замеры листового пластика, проходящего через вал емкостного измерителя. На мониторе изображена диаграмма болтов настройки экструдера и поля допусков производимого пластика, что позволяет отследить продукцию, несоответствующую заданным параметрам качества, и корректировать процесс без остановки производства (рис. 8).

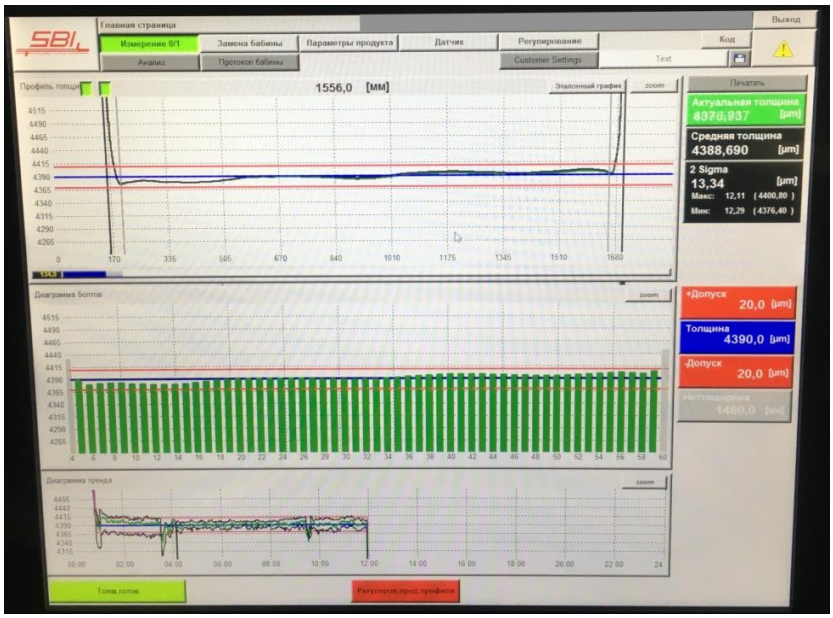


Рис. 8 - Диаграмма болтов и график соответствия толщины ленты листового пластика установленным допускам

В результате проведенной модернизации выпуск конечного продукта, не соответствующего техническим требованиям, сокращается до минимальных значений. Текущий контроль допусков по толщине листового пластика теперь осуществляется без остановки экструзионной линии, что позволяет избежать простоев оборудования и невыполнение плана производства. Реализованный способ контроля позволяет значительно снизить долю брака и затраты на повторную переработку некондиционной продукции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. https://www.sbi.at/en/extrusion/dickenmessgeraete/kapa/.
2. https://www.unionextrusion.it/en/.
3. Вихретоковый толщиномер / А.И.Жаворонко, С.В. Кривоносов, В.А. Хлупнов, патент на изобретение RUS 2419763 01.09.2009.
4. Необычное поведение при растяжении смеси полистрола и ударопрочного полистирола / РЖ 19С. Химия высокомолекулярных соединений, 2005, Т. 16, 05.16-19С.216.
5. *Халимоненко А.Д.* Точность обработки при точении заготовок режущим инструментом, оснащенным сменными керамическими пластинами / А.Д. Халимоненко, Р.В. Вьюшин // Записки горного института, 2014, Т. 209, С. 99-103.
6. *Ершов Д.Ю.* Оценка вибрационных процессов механических систем на этапе их проектирования в машиностроении / Записки Горного института, 2014, Т. 209, С. 51-54.
7. *Сивенков А.В.* Восстановление деталей машин химико-термической обработкой / А.В. Сивенков, Д.А. Кончус // Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, С. 126-129.
8. *Сивенков А.В.* Химико-термическая обработка сталей в среде легкоплавких растворов / Записки Горного института, 2014, Т. 209, С. 244-248.
9. *Maksarov V.V.* Simulation of dynamic processes when machining transition surfaces of stepped shafts / V.V. Maksarov, R.V. Viushin, V.A. Krasnyy // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018, Vol. 327, 022047.
10. *Злотников Е.Г.* Обучение студентов машиностроительного направления программированию станков с ЧПУ на базе интерактивного учебного класса компании EMCO / Сборник научных трудов конференции «Современные образовательные технологии в подготовке специалистов для минерально-сырьевого комплекса», 2018, С. 563-568.
11. *Mavliutov A.R.* Optimization of cutting parameters for machining time in turning process / A.R. Mavliutov, E.G. Zlotnikov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, Vol. 327(4), 42069.
12. *Ershov D.Y.* Analysis of causes and mathematical description of process of manufacturing errors and local defects in mechanical system nodes / D.Y. Ershov, L.E. Koboyankwe, E.G. Zlotnikov // IOP Conference Series: Earth And

Environmental Science, 2017, Vol. 87(8), 082015.
13. *Ershov D.Y.* Dynamic processes in technological systems of machining and the nature of their origin / D.Y. Ershov, E.G. Zlotnikov, L.E. Koboyankwe // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 87(8), 82016.
14. *Злотников Е.Г.* Выбор технологической схемы переработки металлической стружки в автоматизированном производстве / Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, С. 91-93.
15. *Злотников Е.Г.* Современные технологии переработки и брикетирования металлической стружки в автоматизированных производствах / Е.Г. Злотников, В.В. Максаров // Записки горного института, 2014, Т. 209, С. 37-41.
16. *Халимоненко А.Д.* Управление качеством процесса точения инструментом из режущей керамики / диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук // Северо-Западный государственный заочный технический университет. Санкт-Петербург, 2009.

УДК 697.933

УСТРОЙСТВО ОСУШЕНИЯ ВОЗДУХА ДЛЯ ПОМЕЩЕНИЙ С ПОВЫШЕННОЙ ВЛАЖНОСТЬЮ

Казначеевская Татьяна Викторовна,
группа ТЭМ-18,
Санкт-Петербургский горный университет, кафедра теплотехники и теплоэнергетики

Аннотация. Современные устройства осушения воздуха предполагают использования адсорбирующего вещества или хладагента, что усложняет обслуживание установки или повышает стоимость обслуживания.
В статье проанализированы процессы, происходящие в помещениях с повышенной влажностью, и предложена упрощенная саморегулируемая конструкция удаления влаги из воздуха с использованием воздуха рециркуляции.

Ключевые слова: конденсатообразование; камера смешения; дренаж; влагосодержание

AIR DEHUMIDIFICATION DEVICE FOR ROOMS WITH HIGH HUMIDITY

Kaznacheevskaya Tatiana Victorovna,
group TEM-18,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Heat and power engineering

Abstract. Modern air dehumidification devices involve use an adsorbent or refrigerant. These activities complicate plant maintenance or increase maintenance costs. The article analyses the processes which occurring in rooms with high humidity and proposes a simplified self-regulating design that provides air recirculation.

Keywords: condensate formation; mixing chamber; drainage; moisture content

Настоящая статья посвящена проблеме влаговыделений и конденсатообразований на строительных конструкциях, так как она является одной из основных проблем при эксплуатации зданий и сооружений. Задачей конструкторов является применение влагозадерживающих строительных материалов, а задачей специалистов инженерных систем (отопление и вентиляция) обеспечить оптимальный влажностный режим в помещениях,

как для комфортного пребывания людей, так и во избежание разрушения ограждающих конструкций.

На рис. 1 представлена модель ограждающих конструкций здания. Условными обозначениями показаны температура наружного воздуха ($t_{о.с.}$), температура поверхности ($t_{пов.}$) и температура в помещении ($t_{пом.}$). Тепловой баланс в помещении установится при равенстве теплового потока через ограждающую конструкцию и теплоотдачи воздуха помещения ограждающей конструкции.

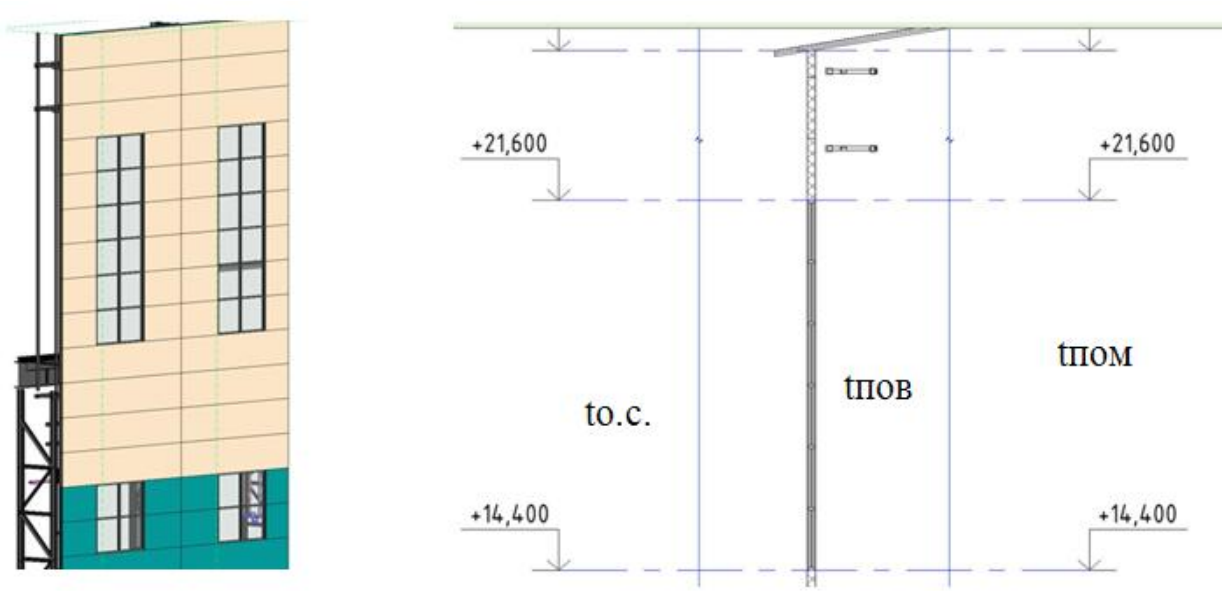


Рис. 1 - Ограждающие конструкции здания

Из уравнения теплового баланса получаем формулу, определяющую температуру поверхности, на которой происходит конденсация влаги:

$$q = \frac{t_{пом} - t_{о.с.}}{R_{min}} = \alpha \cdot (t_{пом} - t_{пов}),$$

где R_{min} – сопротивление теплопередачи ограждающей конструкции, $м^2 \cdot К/Вт$,

α – коэффициент теплоотдачи воздуха к ограждающим конструкциям, $Вт/м^2 \cdot К$,

Таким образом, получаем, что температура поверхности стены зависит от температуры окружающей среды.

Построим процесс, происходящий в камере смешения на диаграмме i-d (рис. 2).

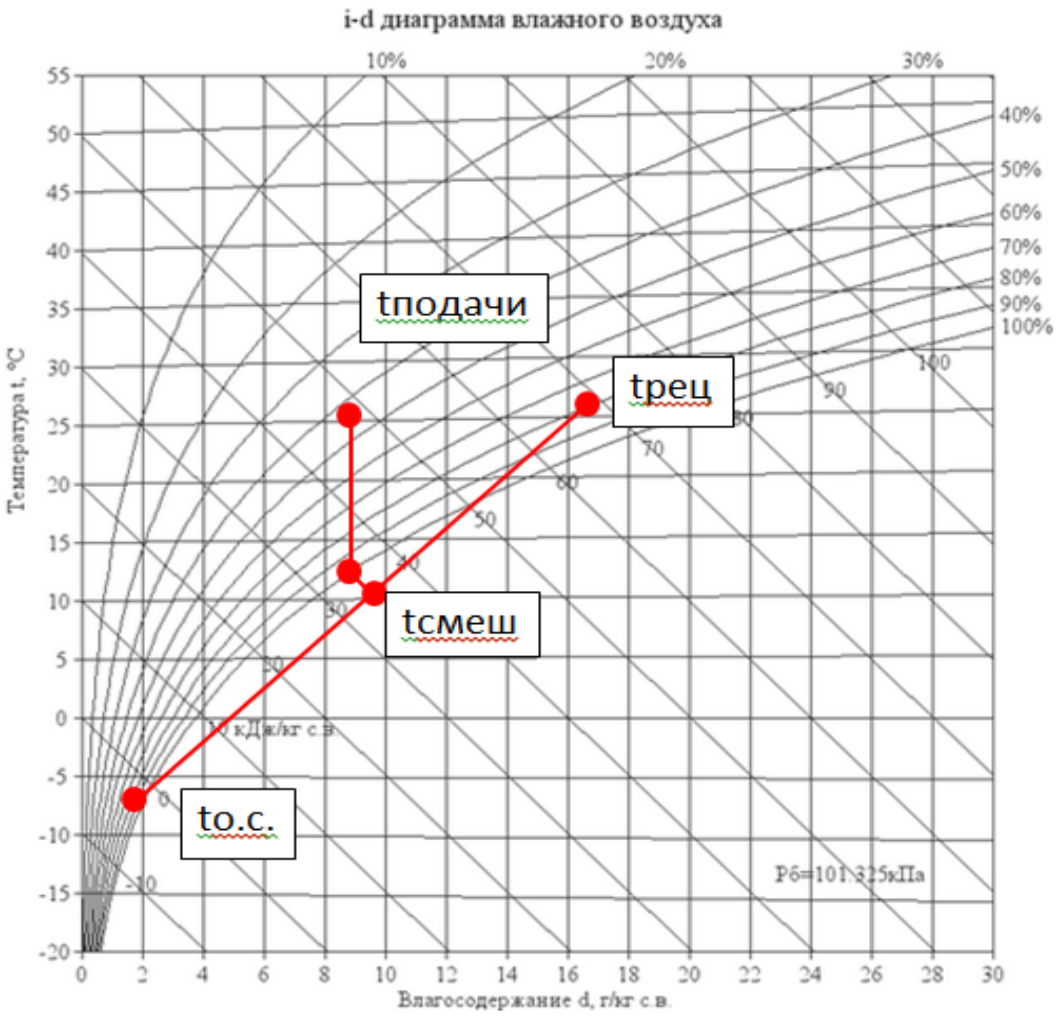


Рис. 2 - Ограждающие конструкции здания

Устройство работает следующим образом (рис. 3): холодный воздух с улицы (с низкой влажностью) ($t_{о.с.}$) и теплый воздух из помещения с более высокой влажностью ($t_{рец}$) из помещения поступают в камеру смешения, в результате смешения происходит конденсация водяных паров в виде капель воды. Далее воздух ($t_{смеш}$) поступает через сепаратор, в котором капли воды отделяются от воздушного потока, в калорифер, в котором нагревается и с заданной температурой подается в помещение ($t_{подачи}$).

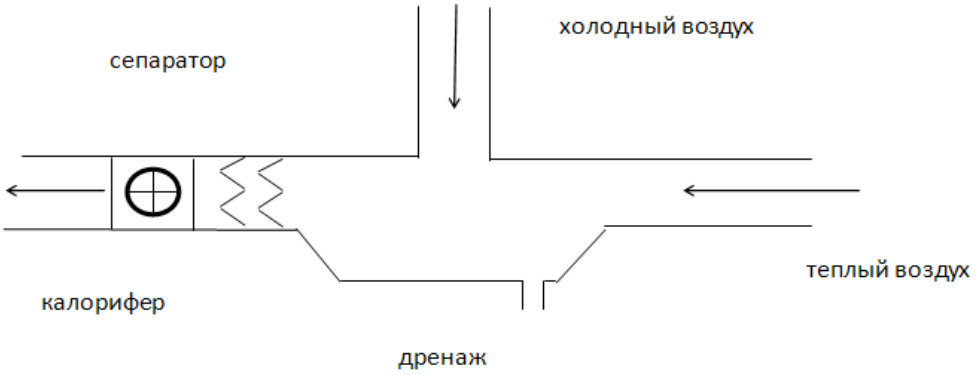


Рис. 3 - Принципиальная схема устройства осушения воздуха

Положительный эффект – устройство не имеет движущихся частей и механизмов, что упрощает конструкцию и снижает ее стоимость.

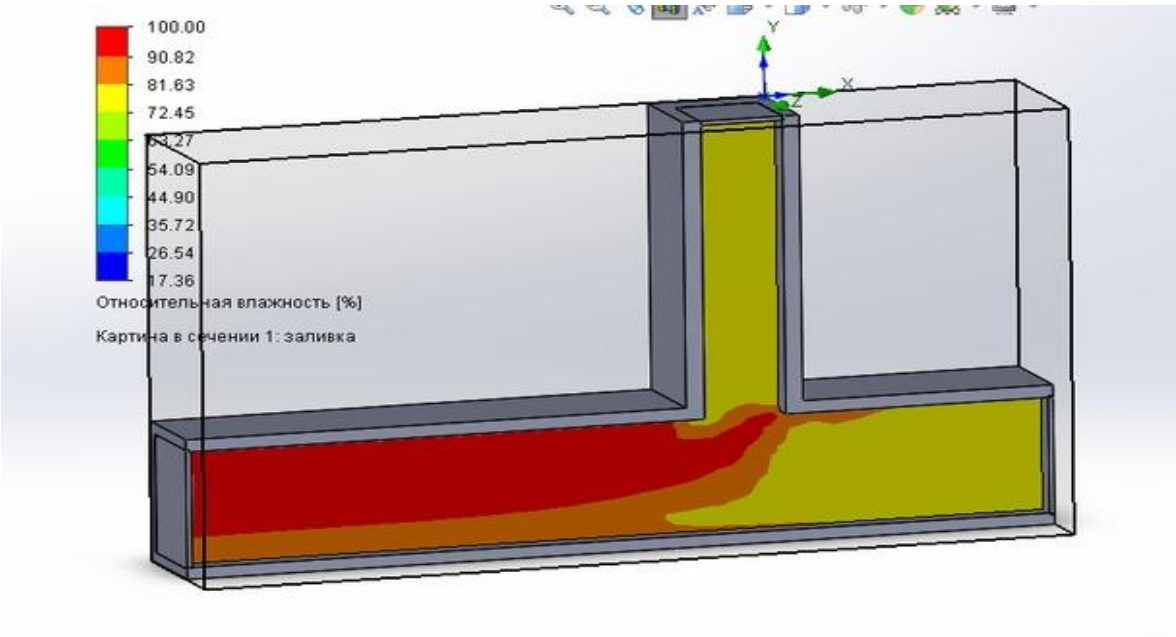


Рис. 4 - Влаговыделения в камере смешения

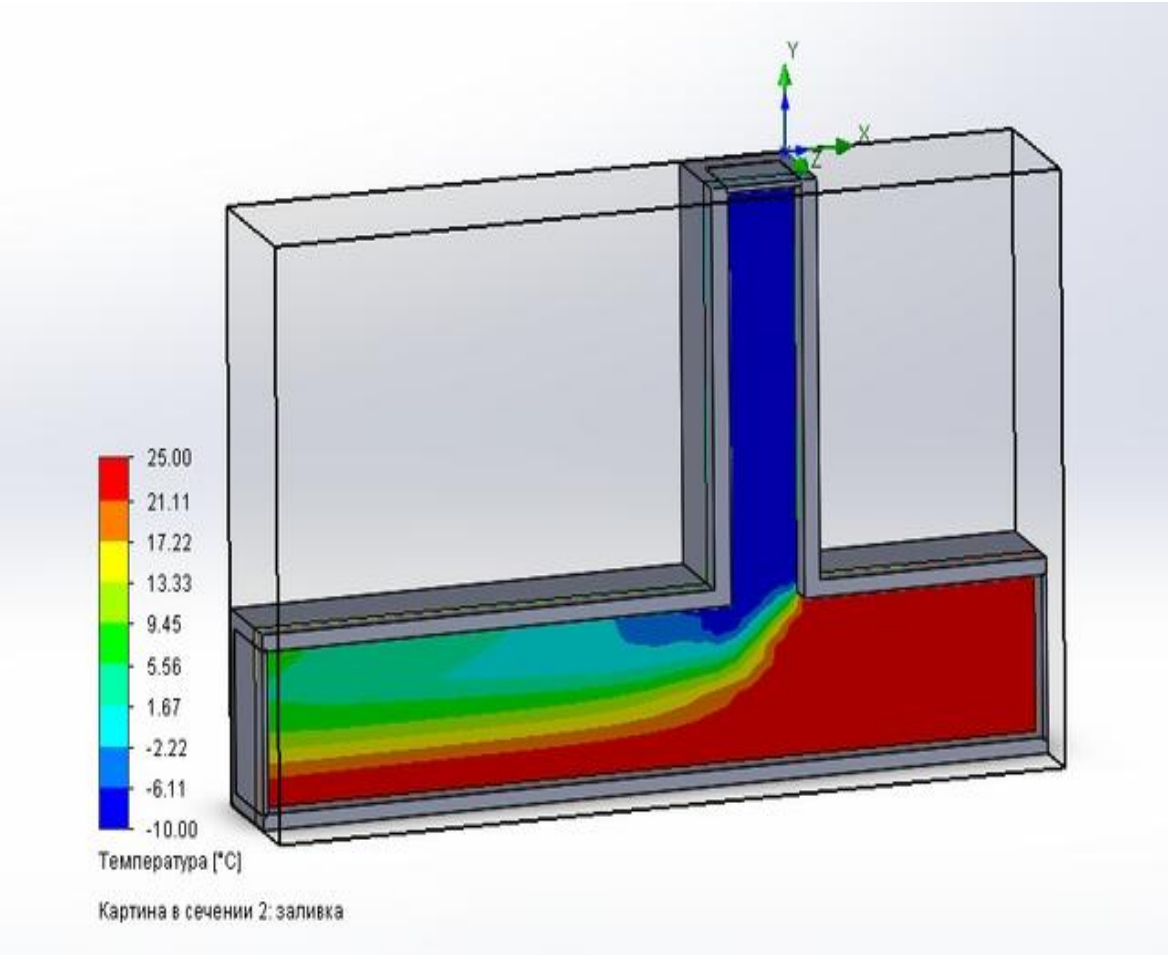


Рис. 5 - Распределение температурного поля в камере смешения

Заключение.

Моделирование процесса осушения воздуха (рис. 4 и 5) с использованием стандартных смесительных камер показало, что вместо процесса смешения часть пути два потока движутся не перемешиваясь и попадают в калорифер раньше, чем происходит их осушение. В связи с выявленными особенностями работы стандартных камер смешения можно сделать вывод о необходимости доработки конструкции смесительного устройства для более эффективного перемешивания воздуха, в том числе исследование влияния скоростей, размеров и особенностей конструктивного исполнения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Фокин К.Ф.* Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / Под. ред. Ю.А. Табунщикова, В.Г. Гагарина. – 5-е изд., пересмотр. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. – 256 с.
2. *Тихомиров К.В.* Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция: Учеб. для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. / К.В. Тихомиров, Э.С. Сергеенко. – М.: Стройиздат, 1991. – 480 с.
3. http://www.klimatvdomi.com/condition/cond_vlagovydel.html.

УДК 621.398

ВАРИАНТЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИИ КАРЬЕРНОГО АВТОСАМОСВАЛА

Камышьян Альберт Михайлович,
аспирант,
Санкт-Петербургский горный университет, кафедра электроэнергетики и электромеханики

Аннотация. Проведен обзор и анализ существующей системы электромеханической трансмиссии карьерных автосамосвалов «Белаз». Произведена оценка влияния неуправляемого выпрямителя на снижение коэффициента мощности и увеличение массогабаритных параметров трансмиссии. Предложены варианты модернизации системы электромеханической трансмиссии, обеспечивающие коррекцию коэффициента мощности.

Ключевые слова: карьерный автосамосвал; электромеханическая трансмиссия; коэффициент мощности; активный фильтр; активный выпрямитель

DUMP TRUCK ELECTROMECHANICAL TRANSMISSION UPGRADE OPTIONS

Kamyshyan Albert Mikhailovich,
postgraduate student,
Saint-Petersburg Mining University, Power engineering and electromechanics department,

Abstract. A review and analysis of the existing system of electromechanical transmission of Belaz mining dump trucks are carried out. The effect of an uncontrolled rectifier on the reduction of the power factor and the increase in the mass-dimensional parameters of the transmission is estimated. Variants of modernization of the electromechanical transmission system providing correction of the power factor are offered.

Keywords: mining dump truck; electromechanical transmission; power factor; active filter; active rectifier

Сегодня карьерный автомобильный транспорт, благодаря высокой маневренности, высокой оперативности управления, является основным средством доставки горной массы со дна карьера [1-3]. При этом

наблюдается устойчивая тенденция к увеличению доли горной массы перевезенной карьерной автомобильной техникой с одновременным увеличением грузоподъемности карьерных автосамосвалов.

Основным типом трансмиссии, устанавливаемой на большегрузные карьерные автосамосвалы, является электромеханическая трансмиссия. Ведущим производителем трансмиссий данной конструкции на территории Российской Федерации является предприятии ПАО «Силовые машины» (филиал «Электросила»). Компания выпускает комплекты трансмиссий переменно-переменного тока, устанавливаемые на карьерные автосамосвалы производства «БелАЗ». Структурная схема электромеханической трансмиссии представлена на рис. 1.

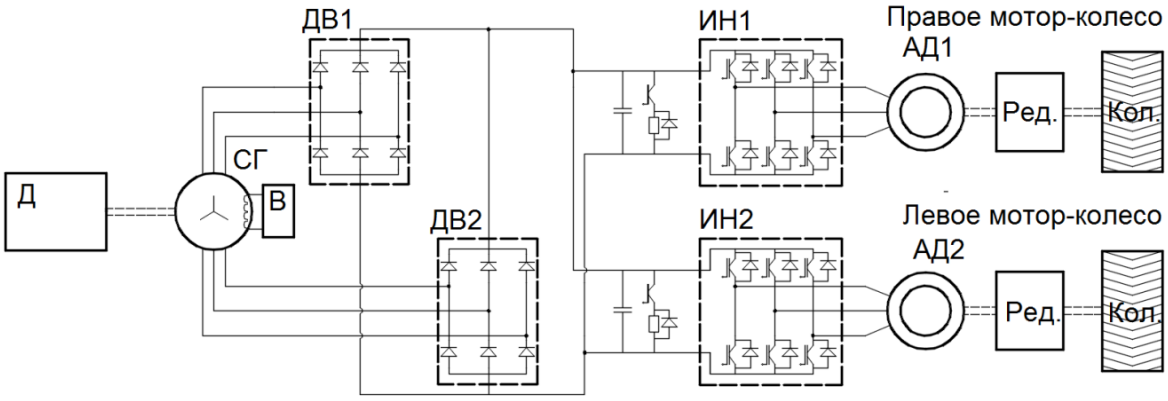


Рис. 1 - Схема электромеханической трансмиссии переменного тока автосамосвала «Белаз»

Электромеханическая трансмиссия содержит в своем составе автономный источник, представляющий собой дизельный двигатель (Д) соединенный валом с валом ротора синхронного генератора (СГ), оснащенного системой самовозбуждения. Двухзвенный преобразователь частоты, включающий неуправляемые диодные выпрямители (ДВ1, ДВ2) и автономные инверторы (ИН1, ИН2), осуществляет преобразование энергии, питающей тяговые асинхронные двигатели (АД1, АД2).

Рис. 2 - Схема электромеханической трансмиссии переменного тока автосамосвала «Белаз»

Двухзвенный преобразователь, устанавливаемый на карьерные автосамосвалы, выполняется единым шкафом преобразователя, устанавливаемый рядом с кабиной водителя под козырьком безопасности.

Шкаф преобразователя оснащен принудительной жидкостной системой охлаждения (рис. 2).

Опыт промышленного использования трансмиссий данной конструкции подтверждает высокие эксплуатационные

характеристики [4], однако данная конструкция имеет недостаток, связанный с работой системы генератор – неуправляемый выпрямитель на нелинейную нагрузку.

Напряжения и токи в системе преобразователя с диодным выпрямителем и автономным инвертором напряжения представлены на рис. 3, где usn – трехфазная система напряжений сети, is1 – ток одной фазы сети, id – выпрямленный ток диодного моста, urc – напряжение конденсатора, ic – ток конденсатора, u1 – напряжение одной фазы нагрузки, in – трехфазная система токов нагрузки, uоп – опорное напряжение, uyn – трехфазная система напряжений управления [5].

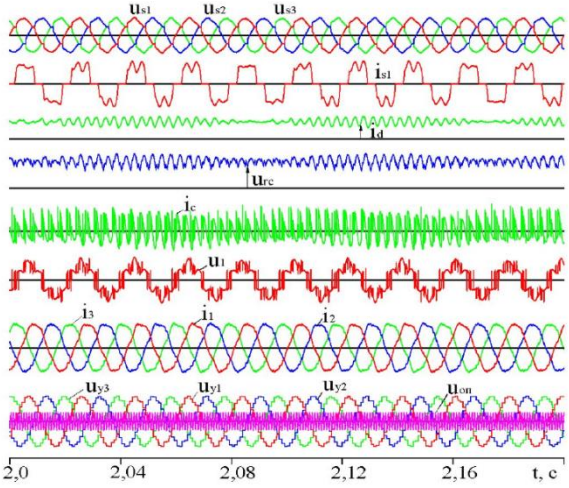


Рис. 3 - Напряжения и токи в системе преобразователя с диодным выпрямителем и автономным инвертором напряжения

Как видно из рис. 3, работа неуправляемого выпрямителя на нелинейную нагрузку в составе двухзвенного преобразователя частоты приводит к снижению коэффициента мощности до 0.7-0.8 за счет неуправляемой коммутации диодов и вследствие этого искажения токов и напряжений сети.

Повышение коэффициента мощности системы возможно посредствам модернизации существующей схемы электротрансмиссии. Можно выделить два основных варианта модернизации обеспечивающие коррекцию коэффициента мощности [6]. Первый вариант основан на введении в структуру электромеханической трансмиссии дополнительного оборудования, активного фильтра, второй – на замене блоков неуправляемых диодных ключей инвертора на блоки, выполненные на основе полностью управляемых транзисторных ключей (IGBT).

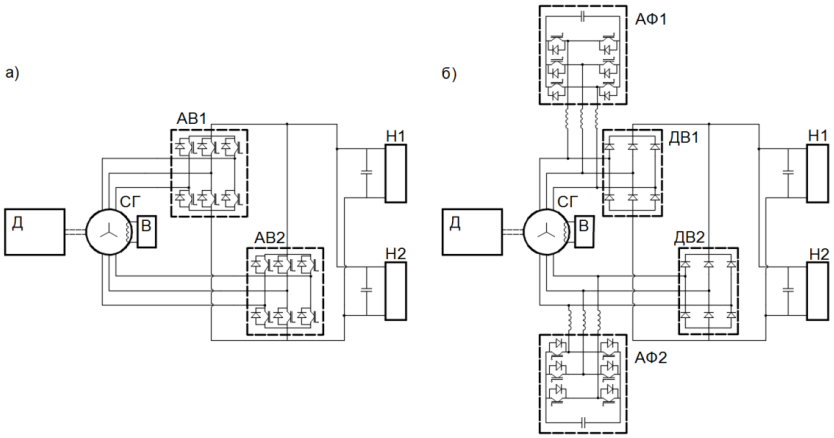


Рис. 4 - Варианты модернизации электромеханической трансмиссии автосамосвала с: а) использованием активного фильтра (АФ1, АФ2), б) использованием активного выпрямителя (АВ1, АВ2), где Н1,Н2 – нелинейная нагрузка

Структурные схемы вариантов модернизации трансмиссии представлены на рис. 4.

Трансмиссия оснащается шестифазным синхронным генератором в связи с чем возникает необходимость установки активного фильтра в каждую из двух трехфазных ветвей (рис. 4, б). Как показано в [7] наиболее целесообразным является использование одного активного фильтра при работе на группу преобразователей, что в противном случае приведет к значительному увеличению массогабаритных параметров трансмиссии. Кроме того данный вариант модернизации потребует установки дополнительной системы охлаждения.

Модернизированная электромеханическая трансмиссия, выполненная на основе двухзвенного преобразователя с активным выпрямителем, является наиболее перспективным решением, позволяющим обеспечить коэффициент мощности системы генератор – активный выпрямитель близким к 1 и не оказывающим значительного негативного влияния на массогабаритные параметры трансмиссии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мариев П.Л.* «БелАЗ» и современные тенденции развития карьерного автотранспорта / П.Л. Мариев, К.Ю. Анистратов // Горная Промышленность, 2001, Т. 6, С. 29.

2. *Ясюченя С.В.* О повышении операционной эффективности открытых горных работ в компании ОАО «СУЭК» / Горная Промышленность, 2013, Т. 6, С. 23.

3. *Мариев П.Л.* Обзор мировых производителей карьерных самосвалов. Тенденции развития / П.Л. Мариев и др.

4. *Пронин М.В.* Электромеханотронные комплексы и их моделирование по взаимосвязанным подсистемам / М.В. Пронин, А.Г. Воронцов. – СПб.: Издательство «Ладога», 2017. – 177 с.

5. *Пронин М.В.* Силовые полностью управляемые полупроводниковые преобразователи (моделирование и расчет) / М.В. Пронин, А.Г. Воронцов. Под ред. Е.А. Крутякова. - СПб: «Электросила», 2003. – 52 с.

6. *Абрамович Б.Н.* Оценка эффективности гибридных систем коррекции формы кривых тока и напряжения в электрических сетях с распределенной генерацией / Б.Н. Абрамович, Ю.А. Сычев, Р.Ю. Зимин // Промышленная энергетика, 2018, Т. 1.

7. *Емельянов А.П.* Электропривод машин и оборудования. Учебное пособие / А.П. Емельянов, В.И. Вершинин, А.Е. Козярук. – СПб.: Санкт-Петербургский горный университет, 2017. – 297 с.

УДК 621.3.049.75

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ МЕТОДАМИ ОПТИЧЕСКОГО И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Каныгина Екатерина Дмитриевна,
группа ПЭ-15,
Санкт- Петербургский горный университет, Электромеханический факультет

Аннотация. Контроль качества печатных плат имеет большое значение в производстве для обеспечения надежности выпускаемых электронных изделий. При тестировании печатных плат были использованы оптический и электрический методы контроля. Электрический контроль методом «летающих щупов» позволил выявить следующие виды нарушений электрических цепей печатных плат: обрыв или короткое замыкание в цепи. Показано, что к нарушению электрических цепей приводит формирование таких дефектов как протрав, инородные включения и уменьшение расстояния между проводниками. Использование оптических и электрических методов контроля позволяет повысить эффективность системы контроля качества печатных плат.

Ключевые слова: контроль качества; электрический контроль; оптический контроль; печатные платы

OPTICAL AND ELECTRICAL CONTROL IN PRINTED CIRCUIT BOARD MANUFACTURING

Kanygina Ekaterina Dmitrievna,
group PE-15,
Saint-Petersburg Mining University,
Electromechanical Faculty

Abstract. Quality control is increasingly important in printed circuit board manufacturing to be sure that electronic equipment is reliable. Under the circumstances, optical and electrical methods were here applied to test printed circuit boards. During electrical control, a flying probe test revealed such typical discontinuities in the electrical circuits of printed circuit boards as open circuit defects and short. According to the tests, the discontinuities were caused by such defects as etching, foreign inclusions and the reduction of the distance between conductors, as well. Both optical and electrical approaches to control the quality of printed circuit boards are able to make the system of quality control much more efficient.

Keywords: quality control; electrical control; optical control; printed circuit board

Печатная плата составляет основу любого электронного изделия, входя в состав компьютеров, сотовых телефонов, робототехнических систем [1, 2]. Это устройство ознаменовало огромный скачок в развитии радиоэлектронной аппаратуры.

На сегодняшний день рынок электротехнической аппаратуры предоставляет большой ассортимент изделий для потребителя. Для того чтобы продукт являлся конкурентоспособным необходимо уделять пристальное внимание обеспечению качества и повышению надежности изделий электронной техники. Определенные виды дефектов печатных плат влияют на параметры сигналов и приводят к возникновению шумов в электронной аппаратуре [3]. Решение этих проблем возможно путем контроля всех технологических этапов производства, начиная с процессов производства печатной платы. При тестировании печатных плат учитывается внешний вид изделия, геометрические параметры элементов и точность их выполнения, выполняется проверка металлизации отверстий и их устойчивости к токовой нагрузке, определяется целостность цепей и сопротивление изоляции [4].

Существуют разные методы контроля печатных плат. При проведении исследования использовались оптический и электрический методы контроля.

Оптический контроль осуществляется с помощью оптического устройства – системы технического зрения, позволяющей многократно увеличить изображение дефектов поверхностных слоев печатной платы [5].

Электроконтроль выполняет проверку печатных плат на отсутствие дефектов типа «обрыв» или «короткое замыкание» [6]. Критерием оценки является значение сопротивления между двумя контактными площадками на печатной плате.

Оптическим методом были выявлены следующие виды дефектов:

- инородные включения (рис. 1, а);
- вздутия – выпуклость, образовавшаяся в результате расслоения многослойной печатной платы;
- заужение проводников – уменьшение ширины проводника по сравнению с заданным значением;
- протрав – отсутствие электропроводящего материала проводящего рисунка печатных плат (рис. 1, б);
- смещение центра металлизированного отверстия – изменение расположения отверстий относительно центров контактных площадок проводящего рисунка (рис. 1, в);
- царапины – отметка на поверхности или порез, который повреждает структуру токопроводящей дорожки.

Методом электроконтроля были определены дефекты: обрыв проводника (участок, размыкающий электрическую цепь), короткое замыкание (слияние проводящих дорожек (рис. 2)), инородные включения, смещение слоев платы.

а б в

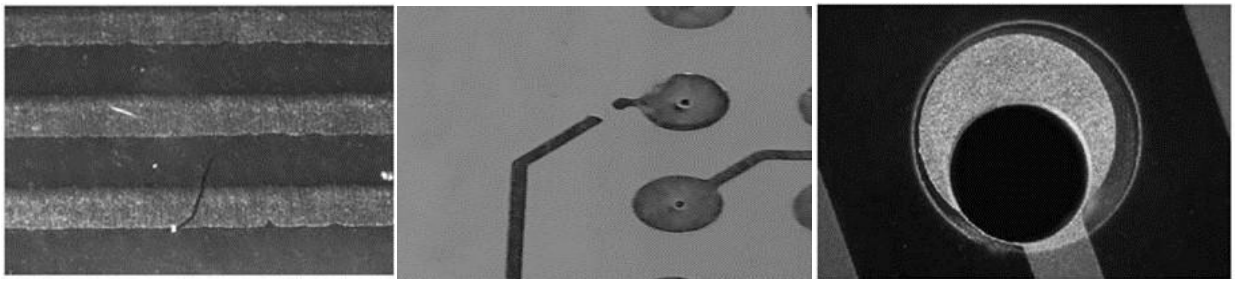


Рис. 1 - Дефекты, обнаруженные оптическим методом контроля:
а – инородное включение; б – протрав; в – смещение центра отверстия

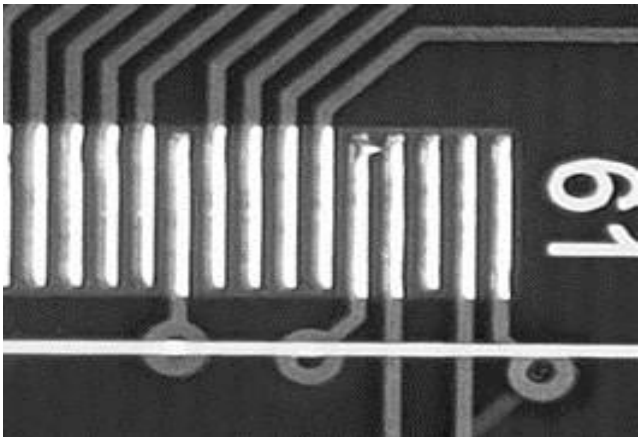


Рис. 2 - Дефект «короткое замыкание» проводника печатной платы

Исследование показало, что около 50% дефектов определяются методом оптического контроля, 35% – электроконтролем и 15% дефектов определяются иными методами. Достоинства и недостатки оптического и электрического тестирования представлены в табл. 1.

На производстве возможны ситуации, при которых оптический контроль печатной платы не позволяет определить соединение между контактной площадкой и основанием и положение проводников. В этом случае дефект может быть обнаружен при проверке электрическим контролем.

Таблица 1

Сравнительный анализ и основные характеристики методов контроля качества печатных плат

Электрический контроль	Оптический контроль
Достоинства	
– тестирование любого типа плат; – преимущества при контроле плат широкой номенклатуры – результаты тестирования не требуют проверки иными методами;	– тестирование фотошаблонов; – отсутствие дополнительных затрат на адаптер; – низкая стоимость оборудования по сравнению с автоматическими системами
Недостатки	
– отсутствует тестирование фотошаблонов; – производительность тестирования «летающими щупами» недостаточна для больших объемов производства;	– анализируются не электрические соединения, а их изображения; – результат нуждается в проверке иными методами; – отсутствие тестирования металлизированных отверстий

Однако независимо от метода обнаружения дефекта по его внешнему виду можно определить вид дефекта и показать его влияние на качество печатной платы.

Таким образом, совместное использование оптического и электрического метода позволяет достичь наиболее качественного результата при контроле качества печатных плат.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Карапетян К.Г.* Формирование наноразмерных структур в аморфных и некристаллических материалах для создания современных оптоэлектронных систем / К.Г. Карапетян, О.В. Денисова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2015, Т. 6(2), С. 282-286.
2. *Karapetyan K.G.* Advanced technologies of microlenses production for robot system camcorders / K.G. Karapetyan, O.V. Denisova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, 092014.
3. *Vyboldin Y.K.* Interference effect of impulse noise on noise immunity of communication and control channels in underground structures / Y.K. Vyboldin, S.V. Borisov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 87(8), 082054.
4. *Денисова О.В.* Исследование дефектов металлизации печатных плат с помощью системы «техническое зрение» учебно-научного лабораторного комплекса "National Instruments" / О.В. Денисова, Е.И. Блинова, А.В. Лаврова // Материалы III Всероссийской научно-практической конференции «Энергетика и энергосбережение: теория и практика», 2017, С. 407.
5. *Кочегаров И.И.* Алгоритм выявления латентных технологических дефектов печатных плат методом оптического контроля / Труды международного симпозиума «Надежность и качество». Пенза, 2013.
6. *Данилова Е.А.* Обзор методов обнаружения опасных технологических дефектов в электронных платах / Труды международного симпозиума «Надежность и качество». Пенза, 2013.

УДК 620.179.16; 620.179.14

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКОМ КОНТРОЛЕ РЕЛЬСОВ

Карелин Михаил Викторович,
группа ПМ-17,
Санкт-Петербургский горный
университет

Аннотация. Работа посвящена исследованию параметров сигналов дефектоскопических комплексов, отражающих изменение (развитие) дефектов головки рельсов. Получены закономерности изменения сигналов от дефектов магнитного метода во времени, позволяющие в будущем перейти к определению сроков плановой замены рельсов.

Ключевые слова: дефектоскопия рельсов; магнитный метод контроля; магнитный отклик

RESEARCH OF PARAMETERS OF FLAW DETECTION SIGNALS AT PERIODIC CONTROL OF RAILS

Karelin Mikhail,
group PM-17,
Saint-Petersburg Mining University

Abstract. The work is devoted to the study of the parameters of signals of defectoscopic complexes, reflecting the change (development) of defects of the rail head. Regularities in the change of signals from defects of the magnetic method in time were obtained, allowing in the future to proceed to the determination of the timing of the planned replacement of rails.

Keywords: rail NDT; MFL; magnetic response

В зависимости от грузонапряженности участка пути существующая система контроля рельсов предусматривает периодический контроль 1-2 раза в месяц дефектоскопической тележкой и столько же раз мобильными средствами (автомотрисы и/или вагоны дефектоскопы). Расшифровкой дефектограмм занимаются операторы-расшифровщики центров диагностики инфраструктуры, имеющие возможность проанализировать не только крайний проезд, но и предшествующие. В случае нахождения опасного рельса они выдают отметку на его вторичный осмотр и, если дефект подтверждается на его последующую замену.

Наибольшее количество дефектов (до 70 %) образуется в головке рельса [1]. Причем в современных условиях эксплуатации рельсового пути

большинство дефектов головки рельсов залегают в поверхностных и подповерхностных зонах и имеют продольную ориентацию [2]. Любой дефект в виде поперечной или продольной трещины (на глубине более 8 мм) в головке рельсов, формирующий в ожидаемой временной зоне эхо-сигнал с амплитудой выше заданного порога, считается опасным и «подлежит к немедленному изъятию из пути (замене)» (дефекты кода 30, 31,33 и 38 по [3]). В тоже время по данным [4], изломы рельсов по указанным дефектам происходят крайне редко. Поэтому было бы экономически выгодным после обнаружения горизонтальных продольных расслоений на ранней стадии их развития осуществлять их мониторинг и заранее, в плановом порядке, предусмотреть принятие упреждающих мер (усиление дефектного сечения или изъятие из пути).

В ходе работы из накопленной за последние годы базы, выделены дефектограммы участков рельсов, которые по результатам анализа отнесены к остродефектным рельсам и изъяты из пути. После этого просмотрены все имеющиеся в наличии дефектограммы данных участков, полученные при предыдущих плановых проездах мобильных средств дефектоскопии.

Любой исследуемый как зарождающийся, так и критического размера дефект головки современным дефектоскопическим комплексом потенциально может быть зафиксирован 10 ультразвуковыми (у.з.) и одним магнитным (МД) каналом [6, 7]. Сигналы каждого у.з. канала при анализе могут быть представлены как минимум тремя параметрами (время задержки $t_з$ относительно зондирующего импульса, условные высота ΔH и протяженность ΔL пачки сигналов), сигналы магнитного канала – амплитудой $U_{МД}$ и длительностью $\tau_{МД}$ магнитного отклика над дефектным сечением. В канале, реализующем зеркально-теневой метод (ЗТМ) контроля дополнительным параметром является длительность уменьшения амплитуды донного сигнала ниже заданного порога – отображаемого как пропадание донного сигнала - $\Delta L_{ДС}$. В общем случае сигналы от одного дефектного сечения могут быть представлены 33 параметрами, что существенно затрудняет процесс анализа (рис. 1).

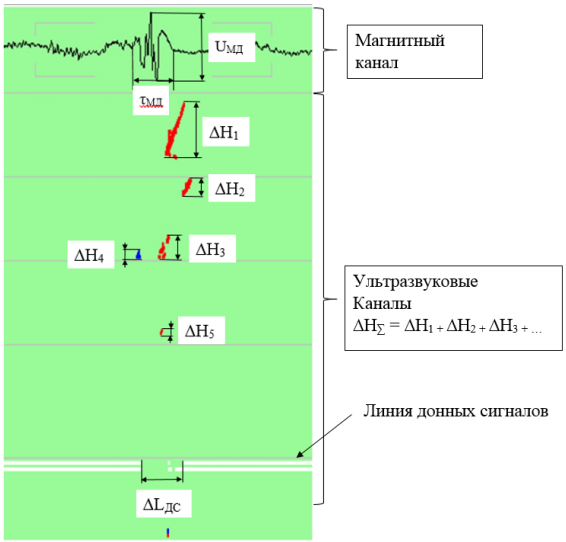


Рис. 1 - Сигналы на дефектограмме

В работе с целью минимизации объема анализируемых данных рассматривается два наиболее информативных параметра $\tau_{МД}$ и $\Delta L_{ДС}$, имеющих монотонное увеличение по мере роста продольных трещин в головке рельсов. Анализ сигналов типа ΔH является отдельной темой, поэтому в данной статье он не рассматриваются.

На рис. 2 приведены зависимости рассматриваемых параметров по времени наблюдения для

продольной трещины, из которых следует тенденция роста $\tau_{МД}$ и $\Delta L_{ДС}$ по мере развития дефекта.

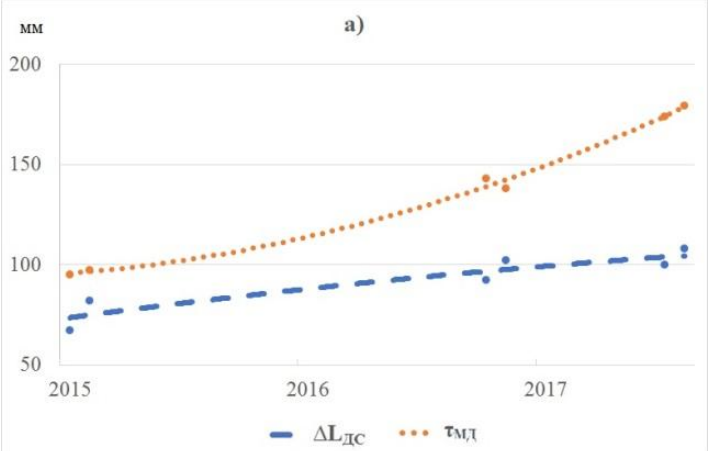


Рис. 2 - Изменение параметров сигналов от горизонтальной трещины

Было выявлено, что первоначальные сигналы от многих горизонтальных дефектов головки рельсов, изъятых из пути как остродефектный, можно было зафиксировать и наблюдать их постепенные изменения за три-четыре года до изъятия. И, как правило, первые сигналы появлялись в магнитном канале (незначительной амплитуды и длительности, но достаточной для их выделения на фоне всевозможных помех).

После выполнения более подробных исследований с дифференциацией исследуемых участков по степени грузонапряженности и иных условий эксплуатации рельсового пути, возможно установить пороговые уровни информационных параметров дефектоскопических сигналов, по которым можно предусмотреть плановое (упреждающее) принятие мер по устранению или усилению дефектного сечения рельса.

Выводы

1. Из всех методов контроля, применяемых для дефектоскопии рельсов, магнитный метод позволяет зафиксировать дефект головки рельса на более ранней стадии развития.

2. Наиболее информативными параметрами дефектоскопических сигналов, позволяющими отследить развитие продольных трещин в головке рельсов, являются длительность магнитного отклика от дефектного сечения и протяженность пропадания ультразвукового донного сигнала.

3. Совместный анализ сигналов методов дефектоскопии, основанных на разных физических принципах (у.з. и магнитный) повышает достоверность обнаружения дефектов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шур Е.А.* Повреждения рельсов. – М.: Интертекст, 2012. – 192 с.

2. Горячева И.Г. Комплексный подход к прогнозированию работоспособности и ресурса рельсов нового поколения / И.Г. Горячева [и др.] // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД», 2017, Т. 5–6, С. 16–26.

3. Инструкция «Дефекты рельсов. Классификация, каталог и параметры дефектных и остродефектных рельсов» Утв. ОАО «РЖД» расп. № 2499 р от 23.10.2014. - 140 с.

4. *Мазов Ю.Н.* Обоснование классификации и сроков замены остродефектных рельсов / Ю.Н. Мазов, В.П. Сычев // Путь и путевое хозяйство, 2015, Т. 8, С. 2-6.
5. Патент на изобретение № 2652673 / А.Г. Антипов, А.А. Марков // Способ определения стрелочных переводов и положения остряков. Бюл. изоб. №13 от 28.04.2018.
6. *Марков А.А.* Дефектоскопия рельсов. Формирование и анализ сигналов. Книга 2. Расшифровка дефектограмм / А.А. Марков, Е.К. Кузнецова. – СПб.: Ультра Принт, 2014. - 326 с.
7. *Марков А.А.* Магнитная дефектоскопия рельсов. Новые возможности / А.А. Марков, А.Г. Антипов. - LAMBERT Academic Publishing, 2018, 112 с.
8. Мосягин В.А. Дефектоскопия рельсов. От дефектоскопии к дефектометрии / В.А. Мосягин, А.А. Марков. - LAMBERT Academic Publishing, 2018, 64 с.

УДК 621.643.07

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА

Карякина Екатерина Денисовна,
группа НХМ-17,
Санкт-Петербургский горный университет, кафедра транспорта и хранения нефти и газа

Аннотация. В связи с быстрым ростом потребления сжиженного природного газа (СПГ) вопросы осуществления его транспорта становятся все более актуальными. На сегодняшний трубопроводный транспорт СПГ выполняется только по технологическим линиям и на небольшие расстояния. Криогенные стали, применяемые для сооружения СПГ-трубопроводов, обладают высокой стоимостью и дефицитностью, поэтому интересен вопрос применения материалов на основе полимеров. Выполненная адаптация и систематизация справочных данных позволяет провести начальный гидравлический расчет трубопровода СПГ. Предложенный трубопровод из высокомолекулярного полиэтилена обладает рядом преимуществ над трубопроводом, выполненным из криогенной стали, таких как низкая теплопроводность, отсутствие коррозии, меньший удельный вес, больший срок службы.

Ключевые слова: сжиженный природный газ (СПГ); низкотемпературный трубопровод; двухфазный поток; пульсации давления; гидроудар; гейзерный эффект; гидравлический расчет трубопровода СПГ

ANALYSIS OF TECHNICAL OPTIONS OF PIPELINE FOR LIQUEFIED NATURAL GAS TRANSPORTATION

Karyakina Ekaterina Denisovna,
group NHM-17,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Transport and Storage of Oil and Gas

Abstract. Due to the rapid growth in consumption of liquefied natural gas (LNG), the issues of its transportation are becoming increasingly relevant. Today, LNG pipeline transport operates only along technological lines and for short distances. Cryogenic steels used for the construction of LNG pipelines have a high cost, so the question of the use of materials based on polymers is of interest. The adaptation and systematization of the reference data allows the initial hydraulic calculation of the LNG pipeline. The proposed pipeline of high molecular weight polyethylene

has a number of advantages over the pipeline, made of cryogenic steel, such as low thermal conductivity, no corrosion, lower specific gravity, longer service life

Keywords: Liquefied natural gas (LNG); low-temperature pipeline; two-phase flow; pressure pulsations; hydraulic shock; geyser effect; hydraulic calculation of the LNG pipeline

Трубопроводный транспорт СПГ связан с целым рядом проблем таких как, предотвращение образования двухфазного потока; пульсации давления, гидроудары и гейзерные эффекты. Возможные пути решения этих проблем изучены в работах [1-7]. На их основании можно сделать вывод о том, что вопрос выбора материала для трубопровода и его изоляции является наиболее трудоемким. На сегодняшний день стали являются основным материалом, используемым для изготовления конструкций и механизмов, работающих при низких температурах. В связи с дефицитностью криогенной стали на основе никеля, стоит обратить внимание на возможность применения в качестве конструкционного материала трубопровода полимерных материалов. Эти материалы обладают меньшим весом, более низкой теплопроводностью, что позволяет частично или полностью отказаться от использования дорогостоящей изоляции. Полимеры стойки к агрессивным веществам грунта и не подвержены электрохимической коррозии. К полимерам нового поколения относится сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) и композиты на его основе, обладающие высокой удельной прочностью и хладностойкостью. Ниже приведены кривые растяжения (рис. 1а) и изменение предела прочности (рис. 1б) при различных температурах, позволяющие понять характер поведения полимеров при низких температурах [8].

Прочностные характеристики полимеров: предел прочности и модуль упругости значительно ниже, чем у стали. В ходе анализа работ [9, 10, 11] выяснено, что полиэтиленовые трубы обладают значительной стойкостью к деформированию при длительном действии одноосного нагружения при низких температурах (до -80°С), что выражалось в увеличении предела текучести полимеров при снижении температуры.

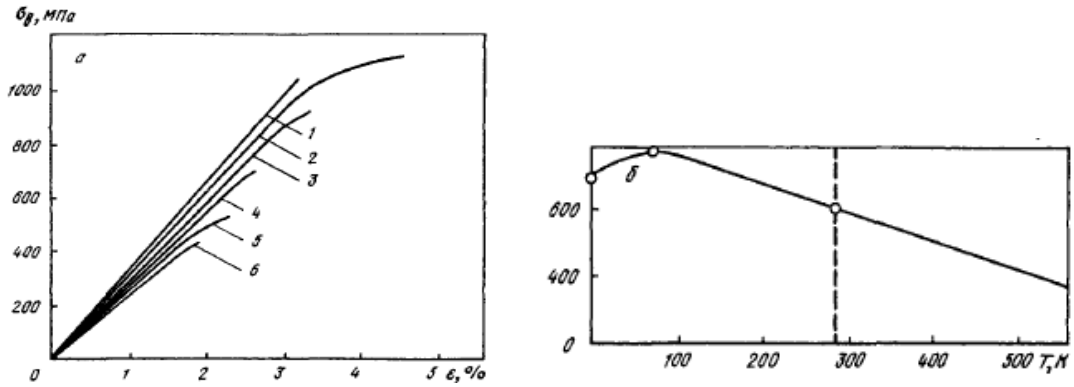


Рис. 1 - Влияние низких температур на прочность волокнистого стеклопластика

В связи с отсутствием в русскоязычной литературе последовательного описания гидравлического расчета для СПГ-трубопровода, была произведена адаптация классического гидравлического расчета трубопровода. Для определения плотности компонента смеси сжиженного природного газа выполнено преобразование распространенной формулы для определения расчетной плотности нефти, в которой плотность, относящаяся к стандартным условиям, была заменена на плотность при температуре нормального кипения. С учетом выполненного анализа статических данных, характера изменения плотности в зависимости от температуры, была получена зависимость:

$$\rho = \rho_0 - \alpha \cdot (T - T_0), \qquad (1)$$

где: ρ_0 – плотность компонента при температуре нормального кипения T_0, кг/м^3;

α – градиент распределения плотности в зависимости от температуры, кг/(м^3·К) (температурная поправка), получен на основании экспериментальных данных измерения плотностей для каждого компонента смеси при различных температурах [12, 13].

Вязкость компонента смеси:

$$\lg(\mu_i) = A \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{B} \right), \qquad (2)$$

где A и B – константы в уравнении вязкости [14].

Давление насыщенного пара компонента смеси:

$$\lg(p) = A \cdot \frac{B}{C + T}, \qquad (3)$$

где A, B и C – константы уравнения Антуана [14].

Определив параметры состояния смеси, далее методика расчета выполнялась по формулам классической гидравлики. В результате расчета по формулам (1) – (3) для смеси сжиженного природного газа состава (в % об.): метан 99,8, азот 0,13, этан 0,07, температура транспортируемого продукта 143 К, получено значение плотности СПГ ρ = 375,71 кг/м^3, коэффициента динамической вязкости μ = 6,562·10^{-5} Па·с и упругости паров 0,74 МПа, давления в начале и конце участка 1,78 МПа и 1,24 МПа соответственно.

В связи с высокой стоимостью процесса сжижения, отсутствием собственных технологий производства материалов и комплектующих; теоретической, нормативной и практической базы развитие проектов трубопроводного транспорта СПГ происходит медленно.

Применение полимерных труб в качестве материла для низкотемпературного трубопровода представляет интерес, но необходимо

детальное исследование прочностных свойств полимеров при низких температурах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Рачевский Б.С.* Сжиженные углеводородные газы. – М.: Изд-во «НЕФТЬ и ГАЗ», 2009 г. – 640 с.
2. *Сафонов В.С.* Обоснование режимных параметров технологических трубопроводов комплексов СПГ с учетом требований промышленной безопасности / *В.С.* Сафонов // Вести газовой науки. Повышение надежности и безопасности объектов газовой промышленности, 2017, Т. 1(29): С. 83–99.
3. *Лесконог А.А.* Нормативное обеспечение и проблемные вопросы промышленной безопасности криогенных трубопроводов отгрузки сжиженного природного газа / А.А. Лесконог, Г.Ю. Чуркин // Вести газовой науки. Повышение надежности и безопасности объектов газовой промышленности, 2018, Т. 2(34), С. 135–140.
4. *Воронов В.А.* Сравнительный анализ однофазного и двухфазного режимов транспортировки природного газа по трубопроводным системам / В.А. Воронов, Я.В Мартыненко // Международный научно-исследовательский журнал. Часть 4 Технические науки, 2017, Т. 04(58), С. 28-34;
5. *Воронов В.А.* Сравнительный анализ транспорта газа по трубопроводам в жидком и газовоздушном состояниях / В.А. Воронов, Я.В Мартыненко, М.Н. Назарова // ДЕЛОВОЙ ЖУРНАЛ NEFTEGAZ.RU, 2017, Т. 10, С. 20-23;
6. *Ленский В.* Подводные СПГ-трубопроводы / В. Ленский, О. Фисенко, П. Курис и др. // Offshore (Russia). Трубопроводы, 2016, Т. 11, С. 66-71.
7. *Малков М.П.* Справочник по физико-техническим основам криогеники / М.П. Малков, И.Б. Данилов, А.Г. Зельдович, А.Б. Фрадков. Под ред. М.П. Малкова. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатоиздат, 1985. – 432 с.
8. *Солнцев Ю.И.* Материаловедение: Учебник для вузов. Изд. 4-е, перераб. и доп. / Ю.И. Солнцев, Е.И. Пряхин. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2007. - 784 с.
9. *Аношкин А.Н.* Особенности деформирования и разрушения комбинированных полимерных труб при низких температурах / А.Н. Аношкин, А.Б. Поспелов, Р.М. Якушев // Вестник ПНИПУ. Механика, 2014, Т. 2, С. 5–28;
10. *Данилова С.Н.* Износостойкие полимерные композиционные материалы с улучшенным межфазовым взаимодействием в системе «полимер – волокно» / С.Н. Данилова, А.А. Охлопкова, А.А. Гаврильева, Т.А. Охлопкова, Р.В. Борисова, А.А. Дьяконов // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, 2016, С. 80-92;
11. *Серебренников А.А.* Оценка предельно возможных изгибов полиэтиленовых труб при прокладке / Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ», 2017, Т. 9(6).
12. *Сычев В.В.* Термодинамические свойства азота / В.В. Сычев, А.А. Вассерман и др. – М.: Издательство стандартов ГСССД, 1977. – 351 с.

13. *Сычев В.В*. Термодинамические свойства этана / В.В. Сычев, А.А. Вассерман и др. – М.: Издательство стандартов ГСССД, 1982. — 304 с.
14. *Рид Р*. Свойства газов и жидкостей: Справочное пособие / Р. Рид, Дж. Праусниц. Пер. с англ. Под ред. Б.И. Соколова. – Л.: Химия, 1982. – 592 с.

УДК 656

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ «ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ» ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ГОРОДСКОГО НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТА

Клименко Даниил Андреевич,
группа ТОП-15,
Санкт-Петербургский горный университет, Электромеханический факультет

Аннотация. В статье рассматриваются теоретические основы и методы применения технологий «Умный город» в оптимизации движения общественного транспорта крупнейших городов Российской Федерации. Представлены статистические данные, указывающие на недостатки работы нынешних городских транспортных комплексов, способы решения данных проблем, а также методы внедрения технологий в структуру управления транспортным комплексом.

Ключевые слова: интеллектуальные транспортные системы; умный город; городской пассажирский транспортный комплекс; интернет вещей

THE USE OF TECHNOLOGY «INTERNET OF THINGS» IN OPTIMIZING THE MOVEMENT OF URBAN LAND TRANSPORT

Klimenko Daniil Andreevich,
group TOP-15,
Saint-Petersburg Mining University,
Electromechanical Faculty

Abstract. The article discusses the theoretical foundations and methods of applying the technologies of «Smart Cities» in optimizing the movement of public transport in the largest cities of the Russian Federation. The statistical data indicating the shortcomings of the current urban transport complexes, ways to solve these problems, as well as methods for introducing technologies into the management structure of the transport complex are presented.

Keywords: intelligent transport systems; smart city; city passenger transport complex; the internet of things

На данный момент наиболее актуальной проблемой городских жителей является гармоничное движение наземного городского и электрического транспорта, а также метрополитена. Для оптимизации работы пассажирских транспортных комплексов имеет смысл применить технологии,

использующиеся при проектировании умных городов, в частности «Интернет вещей». Данная технология является совокупностью всех электронных устройств, начиная от смартфонов и заканчивая камерами наружного видеонаблюдения, способных к передаче данных. Информация будет агрегироваться в единых центрах обработки данных, где при помощи специализированных программ и алгоритмов будет происходить анализ и дальнейшее принятие решений, способствующих разгрузке улично – дорожной сети.

На данный момент в РФ реализуется программа «Безопасный город» [1]. Данная программа представляет собой аппаратно – технический комплекс, работающий на основе интеллектуальной платформы PhysicalSecurityInformationManagement (Управление Информацией о Физической безопасности). Цель данной программы состоит в обеспечении безопасности населения, посредством моментального реагирования на чрезвычайные ситуации, такие как ДТП, аварии или уличные беспорядки. Благодаря разветвленной системе камер видеонаблюдения и датчиков, комплекс агрегирует максимально большое количество данных охватывающий огромные городские пространства. Интеграция данных систем с программами учета пассажиров и передачи данных от IT-компаний, операторов связи и банков, позволит иметь наиболее полное представление о загруженности улично – дорожной сети. Также приложение Яндекс Навигатор имеет схожую систему сбора данных позволяющую отслеживать скорость движения и загруженность улиц.

Автором предлагается интеграция данных технологий в единую информационную сеть, которая позволит наиболее эффективно отслеживать пассажирские потоки их направление и интенсивность, для дальнейшего использования полученных данных для оптимизации работы городского пассажирского транспорта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Щербич С.В.* Поиск новых решений в реализации программы «Безопасный город» // Научно-методический электронный журнал «Концепт», 2015, Т. 13, С. 3911–3915.

УДК 621.923.5

ФОРМИРОВАНИЕ ПОВЕХНОСТНОГО СЛОЯ ПРИ ПОВЕРХНОСТНОМ УПРОЧНЕНИИ

Климов Сергей Геннадьевич,
группа ТОА-15,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. Для повышения эксплуатационных характеристик деталей машин используются различные методы поверхностного пластического деформирования. Приведено влияние шероховатости на усталостную прочность деталей машин. Рассмотрены особенности способов упрочнения поверхностного слоя деталей машин.

Ключевые слова: шероховатость; наклеп, микроструктура; деформирование; выглаживание; виброустойчивость; виброупрочнение

FORMATION OF THE SURFACE LAYER WITH SURFACE STRENGTHENING

Klimov Sergei Gennadevievich,
group TOA-15,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. To improve the performance characteristics of parts, various methods of surface plastic deformation are used. The effect of roughness on the fatigue strength of machine parts is given. The features of the methods of hardening the surface layer of machine parts are considered.

Keywords: roughness; clinging; microstructure; deformation; burnishing; vibrostability; vibrohardening

Эксплуатационные свойства можно рассматривать как совокупность предусмотренных стандартами показателей (назначения, надежности). В производственно-технологическом цикле обычно являются обобщающими характеристиками свойств деталей и сборочных единиц, входящих в изготавливаемую машину (износостойкость, контактная жесткость, виброустойчивость, коррозионная стойкость и т.д.) [1-12]. Указанные свойства прямо связаны с производственными показателями качествами. Проблема обеспечения заданных эксплуатационных свойств всегда была актуальной для машиностроения [1-6].

Действие циклических деформаций и напряжений в поверхностных слоях в зонах контакта деталей приводит к появлению усталостных трещин и последующему отделению этих слоев в результате развития этих трещин. Зарождению и начальному развитию трещин способствуют шероховатости, появляющиеся в результате механической обработки. Влияние шероховатости на усталостную прочность учитывают коэффициентом шероховатости:

$$K_{F\sigma} = \sigma_{-1п} / \sigma_{-1},\ K_{F\tau} = \tau_{-1п} / \tau_{-1},$$

где: σ_{-1}, τ_{-1} – пределы выносливости полированных образцов,

$\sigma_{-1п}, \tau_{-1п}$ – пределы выносливости образцов с заданной шероховатостью. Снижение предела выносливости, вызванное влиянием шероховатостей, увеличивается с ростом предела прочности материала [7-12].

Обработка поверхностно-пластическим деформированием на финишных операциях (ППД) является одним из наиболее простых и эффективных методов упрочнения деталей машин. Возникновение наклепанного поверхностного слоя в процессе обработки, обеспечивается повышение твердости поверхностного слоя. Также формируются благоприятные параметры шероховатости: уменьшается высота исходных неровностей $R_{исх}$ шероховатости поверхности, увеличивается суммарная опорная поверхность контакта t_p, образуется новый рельеф с высотой неровностей после обкатывания R (рис. 1) [12]. При ППД достигается оптимальная глубина слоя металла с остаточными напряжения сжатия, образующая структура волокон поверхностных слоев – мелкозернистая.

Эффективными методами являются обкатывание и алмазное выглаживание. Так, при $R_{исх}$ = 2,5…1,25 мкм при обкатывании можно получить шероховатость Ra = 1,25…0,35 мкм.

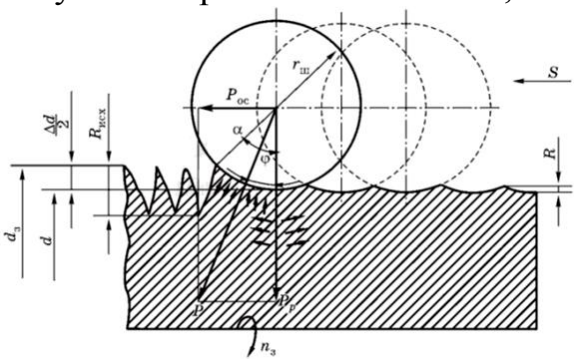


Рис. 1 - Схема деформации поверхностных неровностей при обкатывании роликом

Например, при накатывании торцов бронзовой втулки, формирование шероховатости определяется силой деформирования P, подачей деформирующего ролика s, радиусом ролика r, углом наклона к обрабатываемой поверхности α, исходной шероховатость $Ra_{исх}$. При различных радиусах профиля деформирующего ролика (r = 6 мм, r = 4 мм, r = 3 мм) изменяется площадь зоны контакта инструмента с деталью, что приводит к изменению значения оптимального усилия накатывания (рис. 2, 3). Наименьшая шероховатость поверхности соответствует радиусу профиля ролика r = 3 мм.

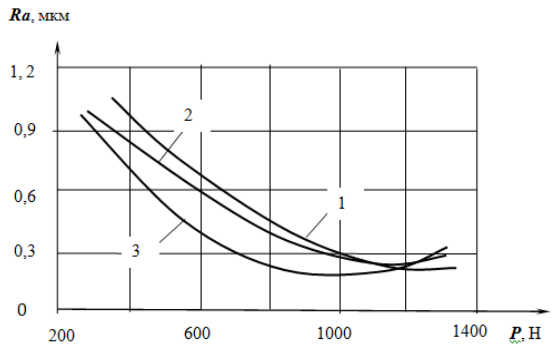


Рис. 2 - Зависимость шероховатости поверхности от усилия накатывания: v = 120 м/мин; P = 900 Н; $Ra_{исх}$ = 2,5 мкм поверхностных неровностей при обкатывании роликом

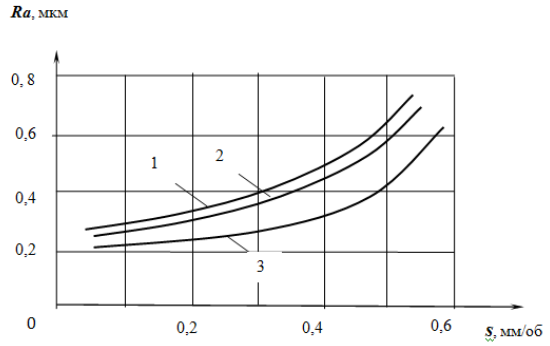


Рис. 3 - Зависимость шероховатости поверхности от усилия накатывания: v = 120 м/мин; s = 0,06 мм/об; $Ra_{исх}$= 2,5 мкм

Статические методы ППД по сравнению с ударными способами упрочнения поверхностных слоев обеспечивают меньшую шероховатость с благоприятной микроструктурой [12].

Большими технологическими возможностями обладают процессы виброударной обработки и виброударного упрочнения.

Виброударный метод упрочнения (виброупрочнение) основан на использовании колебаний частиц упрочняющего тела (стальных шариков) и обрабатываемой детали. Упрочняющее тело помещают в контейнер, находящийся в состоянии вибрации (рис. 4).

Установки для виброударной обработки обеспечивают движение как в одной, так и в нескольких плоскостях. При этом обеспечивается равномерность по поверхности, поверхность обрабатывается одновременно, а не поэтапно; инструмент практически не изнашивается; тепловое воздействие не имеет места.

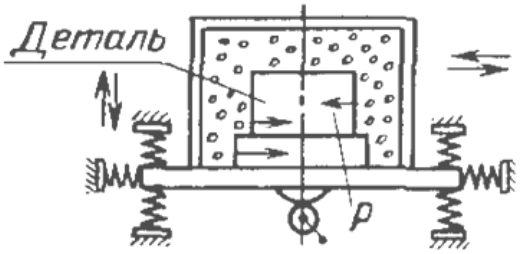


Рис. 4 - Схема виброударной обработки

Установлено, что изменение плотности вибрирующей среды оказывает существенное влияние на её динамические свойства и интенсивность процесса [9, 10, 11].

Виброударная обработка позволяет механизировать трудоемкие ручные финишные операции, что позволяет применять ее в автоматизированном производстве. За один цикл обработки можно получить благоприятный микрорельеф с ненаправленными следами обработки, остаточные напряжения до 500…700 МПа, наклеп на глубину 250…600 мкм, благоприятные структурные изменения [12, 13, 16].

Методы поверхностного пластического деформирования можно использовать как предварительную обработку перед нанесением покрытий, например хромирование, что позволяет получить высокое качество

хромового покрытия [6, 8]. Актуальными являются комбинированные методы обработки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Красный В.А.* Оценка влияния шероховатости на повышение прочности сцепления износостойкого напыляемого покрытия / В.А. Красный, В.В. Максаров // Металлообработка, 2014, Т. 5(83), С. 47-54.
2. *Красный В.А.* Триботехнические характеристики деталей горных машин с регулярной микрогеометрией поверхности / В.А. Красный, В.В. Максаров // Металлообработка, 2016, Т. 1(91), С. 29-35.
3. *Krasnyy V.* Increase of wear and fretting resistance of mining machinery parts with regular roughness patterns / V. Krasnyy, V. Maksarov, J. Olt // Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium, 2016, Vol. 27, С. 151-156.
4. *Ольт Ю.* Обеспечение адгезионной прочности газотермических покрытий поршневых колец двигателей карьерного транспорта / Ю. Ольт, В.В. Максаров, В.А. Красный // Записки Горного института, 2018, Т. 229, С. 77-83.
5. *Максаров В.В.* Повышение точности и качества изготовления в технологическом процессе прецизионных поверхностей гидроцилиндров шахтных крепей на основе локального термического воздействия / В.В. Максаров, Д.Ю. Тимофеев, А.Е. Ефимов // Металлообработка, 2016, Т. 2, С. 35-40.
6. *Красный В.А.* Механика трения тонкослойных покрытий в условиях фретинг-коррозии / В.А. Красный, В.В. Максаров // Научно-технические ведомости Санкт-Петербурского государственного политехнического университета, 2015, Т. 3(226), С. 11-120.
7. *Максаров В.В.* Технологическое обеспечение шероховатости поверхностного слоя на основе моделирования переходных процессов / В.В. Максаров, Р.В. Вьюшин, А.Е. Ефимов // Металлобработка, 2017, Т. 2(98), С. 39-45.
8. *Тимофеев Д.Ю.* Повышение точности изготовления прецизионных поверхностей детали шток гидроцилиндров / Д.Ю. Тимофеев, А.Е. Ефимов // Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, С. 142-145.
9. *Алексеева Л.Б.* Источники возбуждения вибраций в механических системах. Инновации на транспорте и в машиностроении / Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, Т. 3, С. 7-8.
10. *Алексеева Л.Б.* Использование вибрационных технологий для вытяжки изделий / Л.Б. Алексеева, В.В. Максаров // Металлобработка, 2013, Т. 5-6, С. 68-73.
11. *Алексеева Л.Б.* Оценка эффективности виброизолятора при силовом возбуждении колебаний / Инновации и перспективы развития горного

машиностроения и электромеханики IPDME-2017. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, 2017, С. 242-244.
12. *Осминко Д.А.* Совершенствование технологии изготовления прецизионных поверхностей силовых гидроцилиндров на основе виброустойчивой инструментальной системы / В.В. Максаров, Д.А. Осминко // Труды Международной научно-технической конференции «МТЕТ-2016». Санкт-Петербург, 2016., С. 94-97.
13. *Зубарев Ю.М.* Специальные методы обработки заготовок в машиностроении. – СПб.: Изд-во «Лань», 2015. - 400 с.
14. *Должиков В.П.* Технологии наукоемких машиностроительных производств. – СПб.: Изд-во «Лань», 2016. - 304 с.
15. *Суслов А.Г.* Инженерия поверхности деталей. монография. - М.: Машиностроение, 2008. - 320 с.
16. *Максаров В.В.* Влияние структурных параметров режущей керамики на работоспособность инструмента при обработке прецизионных поверхностей деталей горных машин / В.В. Максаров, А.Д. Халимоненко // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2017, Т. 8 (1), С 56-64.

УДК 622.27; 621.83

ИЗМЕНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА ТРЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ ТИПА МАСЛА ДЛЯ ТРАНСМИССИИ ГОРНОЙ МАШИНЫ

Князькина Валерия Ивановна,
аспирант,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. Исследованы и выявлены зависимости по изменению величины и характера акустического сигнала *D* ультразвукового диапазона в паре трения от величины давления в контакте и угловой скорости. Экспериментально подтверждены изменения величины акустического сигнала ультразвукового диапазона при выборе трансмиссионного масла для трансмиссии горной машины, обеспечивающего повышение износостойкости ее элементов.

Ключевые слова: горная машина; трансмиссия; трение; износ; трансмиссионное масло; реурсоопределяющие трибосопряжение; смазка; акустический сигнал ультразвукового диапазона; износостойкость

CHANGING THE ACOUSTIC SIGNAL OF FRICTION WHEN SELECTING A TYPE OF OIL FOR TRANSMISSION OF A MINING MACHINE

Knyazkina Valeria Ivanovna,
postgraduate student,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. The dependences of the change in the magnitude and character of the acoustic signal D of the ultrasonic range in a friction pair on the pressure in the contact and the angular velocity are investigated and revealed. Experimentally confirmed changes in the magnitude of the acoustic signal of the ultrasonic range when selecting transmission oil for the transmission of a mining machine, providing increased wear resistance of its elements.

Keywords: mining machines; transmission; friction; wear; transmission oil; rerouting tribojacking; grease; ultrasonic acoustic signal; wear resistance transmission; friction; wear; transmission oil; resource-determining fusion conjugation; grease; acoustic emission signal; wear resistance

Основную сложность при оценке износостойкости элементов трансмиссии горных машин представляют определение триботехнических

свойств материалов, которые, как известно, зависят от большого числа факторов [1, 2, 3, 4]. Основной причиной отказа горных машин является повышенный износ ресурсоопределяющих трибосопряжений [3, 5, 6, 7, 8, 9]. Обоснованный выбор смазочных материалов играет исключительно важную роль для обеспечения высокого уровня эксплуатационной надежности горных машин и оборудования. Поэтому смазочную среду следует считать равноправным элементом трибологической системы.

В зубчатых передачах горных машин контакт между взаимодействующими зубьями шестерни и колеса осуществляется по линии, при этом температура в контакте может достигать 150…600 ºС. В этих условиях эксплуатации смазка должна гарантировать разделение контактирующих поверхностей, предотвращать задиры и заедание, способствовать снижению изнашивания. Кроме того, смазка должна иметь стабильную вязкость, низкую температуру застывания, хорошие противокоррозионные свойства [5, 10].

При оценке смазывающей способности масел необходимо достоверно определять характер трения в контакте, который в свою очередь может быть оценен по величине коэффициента трения. Акустический сигнал *D* ультразвукового диапазона в паре трения в полной мере позволяет оценить, как характер трения, так и многое говорит о величине коэффициента трения [3, 11]. Фиксируемый показатель *D* представляет собой математическое ожидание амплитуды акустического сигнала генерируемого в подвижном сопряжении при силовом взаимодействии его элементов

Для выявления закономерностей изменения акустического сигнала ультразвукового диапазона от удельной нагрузки и скорости в контакте, пары трения по схеме «контртело-плита», был разработан стенд. Подробное описание его дано в работе [1]. В качестве искусственной среды применялась смазка «Mobil ATF 3309». Давления контртела на плиту находились в диапозоне от 0,773 МПа до 9,01 МПа при скорости вращения контртела от 30,89 рад/с до 60,2 рад/с.

Изменения величины акустико-эмиссионного сигнала трения велись прибором ООО «МЕТКАТОМ» АРП-11. В процессе экспериментов оценивался показатель *D*, пропорциональный величине акустического сигнала, возникающего в контакте при трении в паре «контртело-плита». Учитывая тот факт, что результаты экспериментов имели хорошую повторяемость, при обработке результатов величину показателя *D* принимали как среднее арифметическое трех измерений в эксперименте для каждого сочетания частоты вращения и давления в паре.

На рис. 1 представлены изменения величины акустико-эмиссионного сигнала трения, выраженным показателем *D,* для последовательного ряда угловых скоростей при неизменных давлениях в паре для смазки «Mobil ATF 3309». Результаты экспериментальных данных были обработаны с получением среднегармонической оценки трех измерений с последующей апроксимацией степенной функцией. Как видно из рисунка - существует устойчивая тенденция увеличения показателя *D* с возрастанием угловой

скорости, при этом чем выше давление в паре трения тем интенсивнее растет показатель *D*, что свидетельтвует об ухудшении условий трения в паре, выжимании смазки из контакта и переходу в режим сухого трения.

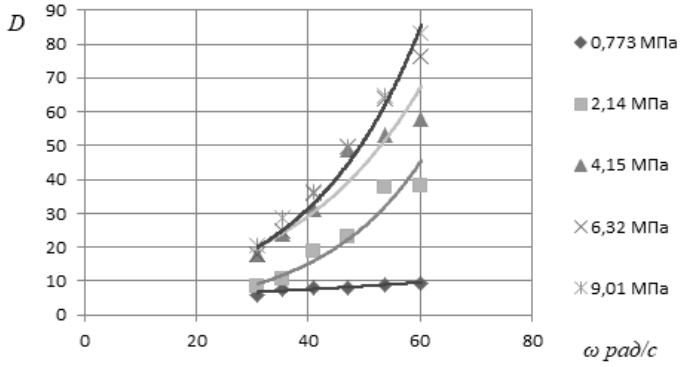


Рис. 1 - Изменение величины показателя *D* от скорости в паре трения со смазкой «Mobil ATF 3309»

На рис. 2 представлен характер изменения величины акустического сигнала, выраженной через показатель *D*, для последовательного ряда давлений в паре трения при неизменных угловых скоростях для смазки «Mobil ATF 3309».

Учитывая выявленные тенденции на основании лабораторных экспериментов, удалось выявить области граничного трения ниже 6 МПа.

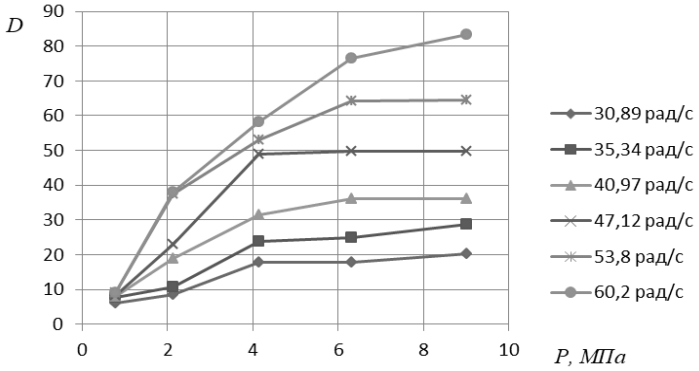


Рис. 2 - Изменение величины показателя *D* от давления в паре трения со смазкой «Mobil ATF 3309»

На основании ранее проведенных исследования, представленных в работе [1] было выявлено также, что данная область граничного трения является предельной для вида смазки «Индустриальное масло И-20» при протекании процесса омеднения, и такое трение будет в результате наиболее эффективным даже в сравнении со смазкой «Mobil ATF 3309».

Учитывая результаты обоих экспериментов, следует констатировать, что при трении омедненных образцов сигнал акустической эмиссии имеет меньшую величину при сохранении общих тенденций и такое трение более эффективно.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Князькина В.И.* Выявление закономерностей изменения акустико-эмиссионного сигнала в парах трения горных и нефтепромысловых машин / В.И. Князькина, С.Л. Иванов, М.М. Тяктев // Master’s journal. Журнал магистров. Пермь. ПНИПУ, 2018, Т. 1, С. 32-36.

2. *Асонов С.А.* Принципы построения модели технического состояния трансмиссии горной машины при ее эксплуатации / С.А. Асонов [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2017, Т. 3, С.15-27.

3. *Герике П.Г.* Поиск предпосылок для создания единого диагностического критерия оценки предельного технического состояния горной техники / П.Г. Герике // Известия Уральского государственного горного университета, 2016, Т. 4 (44), С. 63-67
4. *Zvonarev I.E.* Evaluation of losses in transmission of machinery for development of mineral deposits in conditions of variable load / I.E. Zvonarev, S.L. Ivanov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 87, 022024.
5. *Князькина В.И.* О возможности оперативной оценки технологического состояния горно-шахтного оборудования по величине акустико-эмиссионного сигнала трения / В.И. Князькина, К.А. Сафрончук, С.Л. Иванов // Материалы V междунар. науч.-практич. конф. «Горная и нефтяная электромеханика – 2018. Проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горно-шахтного оборудования и нефтепромыслового оборудования». Пермь. 15-18 октября 2018 г., 2018, С. 39-43.
6. *Иванов С.Л.* Допустимый угол перекоса осей зубчатых передач механических трансмиссий машин / С.Л. Иванов, А.Ю. Кузькин, В.В. Скутельник // ВЕСТНИК ИрГТУ, 2017, Т. 21(9), С. 210-217.
7. *Иванов С.Л.* Изменение наработки современных отечественных экскаваторов ЭКГ от условий их функционирования / Записки горного института, 2016, Т. 221, С. 692-700.
8. *Пумпур Е.В.* Применение агрегатно-узлового метода при обслуживании горной техники / Е.В. Пумпур, С.Л. Иванов // Материалы 14 Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики». В 2 т. Тула, 2018, Т. 1, С. 214-219.
9. *Ivanov S.L.* Manufacturing and design technology of Combined corrected gearing and nonstandard Radial clearance / S.L. Ivanov, P.V. Shishkin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 194, 022013.
10. *Трифанов М.Г.* Оценка нагруженности приводов проходческо-очистных комбайнов «Урал» в реальных условиях эксплуатации / М.Г. Трифанов, Д.И. Шишлянников, С.Л. Иванов // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2018, Т. 1, С. 166–174.
11. *Ivanov S.L.* Integral criterion of mining machines technical condition level at their operation / S.L. Ivanov, P.V. Shishkin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 87, 022009.

УДК 622.242

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И МОДЕРНИЗАЦИЯ ПОГРУЖНОГО ПНЕВМОУДАРНИКА В БУРОВМ СТАНКЕ СБШ-250

Королев Роман Иванович,
Соболева Полина Дмитриевна,
аспиранты,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. Анализируя существующие направления интенсификации процесса вращательного шарошечного бурения, предлагается дополнить его ударными нагрузками, путем установки погружного пневмоударника (ППУ) в буровой став станка, например - СБШ-250. Учтя существующие наработки в области ударно-вращательного бурения, данная схема оснащена амортизационным устройством, реализованным заполнением полости поршня-ударника тяжелой жидкостью (магнитоактивной, с низкой вязкостью), что дает возможность создавать удар регулируемой формы и увеличить срок службы рабочего инструмента. Дополнительно, в ППУ изменяется ударная система, путем размещения между поршнем-ударником и буровым инструментом, промежуточного элемента, меньшей массой и размерами - бойка. Такое оснащение дает возможность разделять ударный импульс на подимпульсы, разнесенные по времени и интенсивности. Предлагаемая конструкция рассчитывается в процессе лабораторных исследований, таким образом, чтобы увеличенная энергия удара не оказывала влияние на стойкость рабочего инструмента (условие неразрушения шарошечного долота) и элементов ударной системы ППУ (подбор высокопрочного материала для изготовления бойка). Подобрав необходимые параметры, с помощью лабораторного стенда, усовершенствованная буровая система позволит увеличить скорость бурения (производительность) на 20-30%, а также продлить срок службы рабочего инструмента.

Ключевые слова: погружной пневмоударник; боек; тяжелая жидкость; энергия удара; скорость бурения

DEVICE FOR COLLECTION OF IRON-MAGNETIC NODULES WITH THE STEP MECHANISM

Korolev Roman Ivanovich,
Soboleva Polina Dmitreevna,
postgraduate students,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. Analyzing the existing directions of intensification of the rotary roller cone drilling, it is proposed to supplement it with shock loads by installing a submersible pneumatic hammer (SPH) in the drilling rig of the machine, for example, SBSH-250. Taking into account existing developments in the field of percussion-rotary drilling, this scheme is equipped with a shock-absorbing device realized by filling the cavity of a piston with a heavy liquid (magnetic, low viscosity), which makes it possible to create a blow of adjustable shape and increase the service life of the working tool. Additionally, in the PUF, the percussion system is changed, by placing between the piston-drummer and the drilling tool, an intermediate element, with a smaller mass and dimensions - striker. Such equipment makes it possible to divide the shock pulse into subpulses separated by time and intensity. The proposed design is calculated in the laboratory research process, so that the increased impact energy does not affect the durability of the working tool (the condition of non-destruction of the roller bit) and elements of the PPU impact system (selection of high-strength material for the striker). Selecting the required parameters, using a laboratory bench, an improved drilling system will increase the drilling speed (productivity) by 20-30%, as well as extend the service life of the working tool.

Keywords: submersible pneumatic hammer; unit; cameras; nodules; production

1. Определение возможных вариантов модернизации станков для бурения взрывных скважин

1.1. Снижение вибраций, возникающие в результате бурения

Применение отечественного, значительно более дешевого, бурового оборудования позволяет организовать работу посредством многостаночного обслуживания техники и имеет большой социальный эффект, так как позволяет осуществить загрузку отечественных заводов горного машиностроения, а также создать новые рабочие места на производствах.

Основные направления совершенствования станков СБШ 250 заключаются в повышении скорости бурения автоматизацией контроля режимных параметров или использованием различных технических средств интенсификации бурения и снижении вибрации бурового става и станка в целом [14].

Поэтому большой интерес представляет разработка технических средств, позволяющих повысить производительность отечественных станков шарошечного бурения при сохранении стойкости породоразрушающего инструмента и снижении вибрации бурового става.

Варианты модернизации с высоким приоритетом по параметру экологического воздействия на среду (человека), а это важный и правильный приоритет, указывают на необходимость обязательного снижения уровня вредной составляющей вибрации бурового става. Это может быть осуществлено следующими средствами [14]:

- установка демпфирующих (гидроамортизаторов) устройств между буровым ставом и узлом вращателя;

- то же, между канатом и гидроцилиндром подачи;

- устройство съемной кабины (не снижает вредное воздействие вибрации на станок в целом, и, особенно, на привод вращателя и мачту);

- установка пневмо-гидроаккумуляторов в напорной магистрали питания гидродомкрата подачи;

- установка следящей системы, позволяющей посредством управления частотой ударов погружного пневмоударника, снижать собственную частоту вибрации става (вариант практически трудно осуществляется).

Таким образом, модернизация буровой техники и буровых станков в первую очередь должна проводиться в направлении обязательного снижения вибрации на рабочих местах до уровня, регламентированного санитарными нормами, а также снижения вибраций, воспринимаемых станком в целом, особенно в наиболее опасных диапазонах частот.

При использовании полностью электорофицированных буровых станков наиболее эффективным средством является установка амортизаторов между ставом и вращателем. Гидрофицированные станки целесообразно снабжать пневмо-гидроаккумуляторами в напорной магистрали питания гидродомкрата подачи.

1.2. Использование ударных устройств

Анализ результатов проведенных теоретических исследований показал, что при использовании, для интенсификации процесса бурения, наддолотных пневмоударников (НПУ), необходимо выбирать пневмоударники, частота работы которых не совпадает с резонансными частотами колебаний бурового става и его рабочей частотой, а именно с 6 Гц, 8–10 Гц, 31 Гц и 47 Гц. При использовании НПУ совместно с пневмогидравлическим амортизатором частота его ударов, помимо частот перечисленных выше, не должна быть равной 2,5 Гц.

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований рекомендуется применять на станках типа СБШ наддолотные пневмоударники совместно с пневмогидравлическим амортизаторами, параметры которых, могут быть рассчитаны известными методами, а конструктивные решения следует принимать в соответствии ранее выполненными работами.

Для увеличения скорости бурения скважин станками шарошечного бурения и повышения стойкости долот, целесообразно использование погружного пневмоударника, при работе которого, возможно создание ударного импульса регулируемой формы (см. описание патента [8]). Это приводит к повышению скорости бурения за счет более полного прилегания шарошки к забою, повышения концентрации ударной нагрузки, лучшего очищения штырей шарошек, а так же интенсификации разрушения забоя. Конкретные схемы бурового става с ударным механизмом, позволяющим

изменять форму ударного импульса, могут быть реализованы за счет создания полых поршней-ударников со специальным заполнением.

2. Увеличение интенсификации бурения станков типа СБШ

Цель установки ППУ (погружного пневмоударника) – повышение скорости бурения. Предварительно проведенный экспертами СПГУ и специалистами ОАО «Апатит» морфологический анализ процесса интенсификации бурения показал, что для совершенствования станков шарошечного бурения по минимальному варианту целесообразно использование погружного пневмоударника с демпфированием ударной нагрузки и формированием ударного импульса «Л»-образной формы. Это должно привести к повышению скорости бурения за счет более полного прилегания шарошки к забою, повышения концентрации ударной нагрузки на лезвиях, лучшего очищения лезвий (штырей) шарошек.

Конкретные схемы бурового става с ударным механизмом при заданной форме импульса могут быть реализованы за счет создания полых поршней-ударников со специальным заполнением, например, тяжелой магнитоактивной жидкостью с низкой вязкостью.

Цель достигается решением следующих задач:

- интенсификация внедрения штырей в породу для ее разрушения;
- скол неровностей забоя для улучшения прилегания долота к забою, снижение динамики става, повышения до максимума одновременности разрушения забоя штырями;
- снижение влияния на разрушения забоя наличием частиц (штыба);
- повышение стойкости долота и оборудования.

Задача решается установкой ППУ с рациональными параметрами и разделением ударного импульса (силы удара) на подимпульсы при использовании работы бойка в режиме «дребезга» [1–3, 5, 6]. Эффективность ППУ с бойком проверяется на лабораторном стенде при проведении экспериментальных исследований.

Чтобы оценить предлагаемое устройство - ППУ с бойком, необходимо рассчитать основные параметры ударной системы, работающей в режиме вращательно-ударного бурения. Для осуществления этого исследования необходимо определить величину максимального осевого усилия, в зависимости от условий работы станка.

Во время работы станка на долото действует значительные силы. Суммарная сила будет рассчитываться по формуле:

$$P_{OC\max} = P_{OC}^{*} + P_{OC}^{n} + P_{OC}^{уд}, \qquad (1)$$

где P_{OC}^{*} - усилием, создаваемым весом бурового оборудования; P_{OC}^{n} - осевое усилие подачи, создаваемое натяжными канатами, $P_{OC}^{n} = 300\,кН$ (по Подэрни Р.Ю.); $P_{OC}^{уд}$ - осевое усилие от удара ППУ.

1. Осевое усилие в нормальном режиме работы будет рассчитываться по формуле 2, согласно Подэрни Р.Ю.:

$$P_{OC}^{n} = 10^{-2} \cdot (6...8) \cdot f \cdot D_{д} = 10^{-3} \cdot (6...8) \cdot \sigma_{сж} \cdot D_{д}, кН, \qquad (2)$$

где f - крепость породы; $\sigma_{сж}$ - предел прочности породы при одноосном сжатии; $D_{д}$ -диаметр долота.

2. В случаях, когда шарошечное долото встречает на своем пути пустоты или происходит резкое скалывание породы и долото проваливается - на него будет действовать мгновенная нагрузка от веса бурового става и бурового оборудования. Такое осевое усилие будет рассчитываться по формуле:

$$P_{OC}^{*} = g \cdot \sum m_i,$$

где $\sum m_i$ -суммарная масса буровой системы.

3. Расчет осевого усилия при использовании удара ППУ может производиться исходя из разных условий.

Условие не разрушения частей шарошечного долота.

Как известно, долото не является цельным элементом, а поэтому оно состоит из различных основных деталей. Каждый элемент изготавливается из стали определенной марки.

Для определения величины осевого усилия из условия неразрушения частей шарошечного долота при вращательно-ударном бурении с ППУ необходимо определить максимальное значение суммы сил, действующих на долото с учетом коэффициента запаса прочности и материала изготовления долота.

$$P_{OC\max} \le [\sigma_{сж}] \cdot \frac{S_i}{k_{зап}},$$

$$(P_{OC}^{*} + P_{OC}^{n} + P_{OC}^{уд}) \le \frac{[\sigma_{сж}] \cdot S_i}{k_{зап}}.$$

где S_i - опасное сечение в шарошке (S_1); в оси (S_2); в лапе (S_3);

$[\sigma_{сж}]$ - предельное допустимое значение напряжения сжатия, определяется в зависимости от фактического металла, из которого изготавливается шарошка (опорный узел, лапа);

$k_{зап}$ - коэффициент запаса прочности ($k_{зап} = 1,05 \div 1,3$).

Условие сохранения ударного импульса.

Зная массу и скорость поршня-ударника из характеристик стандартного ППУ М-48, можно найти осевое усилие, по условию сохранения импульса:

$$m_п \cdot \upsilon_п = P_{OC}^{уд} \cdot \tau,$$

где $m_п$ - масса поршня, $m_п \approx 5кг$ в стандартном ППУ М-48;

$\upsilon_п$ - скорость поршня, $\upsilon_п \approx 10 м/с$;

τ - время соударения, $\tau \approx 0,001с$.

3. Лабораторный стенд для исследования макета НПУ новой конструкции

Основной режимный параметр буровых станков, определяющий нагрузки и производительность, – скорость бурения, поэтому в методике лабораторных исследований используется именно этот параметр как основной показатель исследуемого процесса.

Для расчетов механическая скорость бурения с достаточной точностью может быть определена по формуле (м/ч) [12, 14]:

$$\upsilon_м = 14400 \frac{P \cdot n}{P_к \cdot D},$$

где P – осевое усилие, МН; D – диаметр долота, м; Рк – контактная прочность горных пород, МПа.

Формула верна при:

$$1500 < P_к < 4000 \text{ МПа}; 0,5 < n < 3 \text{ с-1}; 0,075 < D < 0,4 \text{ м}.$$

Как видно из формулы, на основную исследуемую функцию влияют: осевое усилие, частота вращения, диаметр долота и частота ударов НПУ.

Поэтому основными факторами, влияющими на исследуемую функцию (скорость бурения) являются: энергия удара (фактическая масса поршня), осевое усилие, частота ударов, частота вращения.

В качестве исследуемых факторов приняты: масса поршня и бойка, частота ударов поршня, скорость вращения, осевое усилие.

Диаметр шарошки и частота вращения принимаются постоянными по значению, так как их изменение требует использование стендов значительно более сложной конструкции.

Диаметр долота.

Использовать в стенде шарошки диаметром 244 мм нецелесообразно, так как для их работы требуется создание осевого усилия 170-220 кН, что в

условиях помещений СПГУ сложно реализовать. Поэтому принятый для стенда диаметр – 75 мм.

Осевое усилие.

Для шарошечного долота с диаметром 75 мм осевое усилие будет в пределах 40-80 кН, данное значение найдено по формуле Р.Ю. Подэрни [13]:

$$P_{OC}^{n} = 10^{-2} \cdot (6...8) \cdot f \cdot D_{д} = 10^{-3} \cdot (6...8) \cdot \sigma_{сж} \cdot D_{д}, кН .$$

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Korolev R.I.* Improvement of shock system of hydraulic drill to increase drilling intensification / D.A. Iungmeister, R.I. Korolev, V.A. Karlov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 194(3), 032006.
2. *Нагаев Р.Ф.* Механические процессы с повторными затухающими соударениями. - М.: Наука, 1994.
3. *Нагаев Р.Ф.* Сравнение передаваемых в разрушаемую породу импульсов для одинарных и сдвоенных ударников / Р.Ф. Нагаев, Л.Н. Пашкин, В.А. Пивнев, Д.А. Юнгмейстер // Тезисы докладов на Всероссийской конференции «Пневматические, гидравлические, вибрационные машины», 2003, С. 135-137.
4. *Лукашов К.А.* Совершенствование карьерной техники: необходимость, осуществимость, направления / К.А. Лукашов, В.А. Пивнев, Д.А. Юнгмейстер // Горные машины и автоматика, 2002, Т. 6, С. 9-11.
5. *Ветюков М.М.* Перфоратор. Патент № 2223378 / М.М. Ветюков, К.А. Лукашов, Л.Н. Пашкин, В.А. Пивнев, Б.Ф. Воинов, Д.А. Юнгмейстер. - 2004.
6. *Королев Р.И.* Перфоратор. Патент №2659045 от 13.06.2004 / Д.А. Юнгмейстер, Р.И. Королев, П.Д. Наумова. – 2017.
7. *Бурак А.Я.* Обоснование параметров гидроударника исполнительного органа проходческого комплекса для проведения выработок шахт Метростроя Санкт-Петербурга / А.Я. Бурак, В.В. Габов, Д.А. Юнгмейстер, В.Г. Иванов // Гидравлика и пневматика, 2005, Т. 19, С. 13-15.
8. *Ветюков М.М.* Способ бурения крепких пород и устройство для его реализации. Патент № 2209913 от 31.01.2002 / М.М. Ветюков, К.А. Лукашов, В.А. Пивнев, Д.А. Юнгмейстер. - 2003.
9. *Ветюков М.М.* Механо-математическая модель пневмоударника с упругим демпфером / М.М. Ветюков, К.А. Лукашов, В.А. Пивнев, Д.А. Юнгмейстер // Гидравлика и пневматика, 2002, Т. 4, С. 6-7.
10. *Ветюков М.М.* Расчет продольной устойчивости вращающегося бурового става / М.М. Ветюков, Д.А. Юнгмейстер // Горные машины и автоматика, 2004, Т. 8, С. 46-48.
11. *Подэрни Р.Ю.* Основные концепции создания универсального бурового станка нового технического уровня / Р.Ю. Подэрни, М.Р. Хромой, В.Ф. Сандалов // Горные машины и автоматика, 2001, Т. 2, С. 16-20.

12. *Юнгмейстер Д.А.* Совершенствование карьерной техники: необходимость, осуществимость, направления / Д.А. Юнгмейстер, В.А. Пивнев // Горные машины и автоматика, 2002, Т. 6, С. 9-11.
13. *Юнгмейстер Д.А.* Модернизация ударных буровых механизмов / Д.А. Юнгмейстер, Л.К. Горшков, В.А. Пивнев, Ю.В. Судьенков. – СПб.: Политехника-сервис, 2012. - 149 с.
14. *Юнгмейстер Д.А.* Анализ вариантов модернизации станков шарошечного бурения с погружным пневмоударником / Д.А. Юнгмейстер, И. Крупенский, С.А. Лавренко // Записки горного института, 2018, Т. 231.

УДК 622.8.052

ПОЛУЧЕНИЕ ТОПЛИВО-ПЛАВИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТОРФА В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Краснова Людмила Евгеньевна,
группа ТТМ-17,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. В статье описаны результаты экспериментов по созданию топливо-плавильных материалов на основе торфа для применения в процессе доменной плавки. Цель исследования заключалась в подтверждении возможности получения таких материалов и предварительной оценки их эксплуатационных свойств.

Ключевые слова: торфяное топливо; металлургическая шихта; смешивание; гранулирование; гранулированный продукт

OBTAINING FUEL-MELTING MATERIALS BASED ON PEAT IN LABORATORY CONDITIONS

Krasnova Liudmila Evgenievna,
group TTM-17,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. The article describes the results of experiments on the creation of fuel-melting materials based on peat for use in the blast-smelting process. The purpose of the study was to confirm the possibility of obtaining such materials and a preliminary assessment of their operational properties.

Keywords: peat fuel; metallurgical charge; mixing; pelletizing; granular product

Согласно проекту Энергетической стратегии России на период до 2035 года в настоящее время использование местных видов топлива является недостаточным [16]. Одним из перспективных местных источников топлива является торф. Наряду с традиционными направлениями использования в качестве топлива и удобрения, торф может найти применение в черной металлургии в процессе восстановления железа из руды. Большинство районов с развитой металлургической промышленностью работают на привозном топливе, хотя обладают собственными значительными запасами торфа. В настоящее время сложились определенные предпосылки к началу нового этапа использования в металлургии торфяного топлива, связанные с удорожанием добычи и переработки угля и возрастанием транспортных

расходов. На основе торфа возможно производство топливно-плавильных материалов для доменных процессов и торфорудных брикетов для внедоменного получения стали [10].

В качестве основных преимуществ использования торфяного топлива взамен коксующихся углей можно отметить: низкое содержание серы и фосфора, относительно малую зольность и отсутствие ртути в составе, что позволит снизить выбросы вредных веществ и улучшить химический состав металла; теплота сгорания торфяного топлива сравнима с теплотой сгорания бурых углей.

Проведены экспериментальные исследования по созданию торфяных топливно-плавильных материалов, в виде цилиндрических гранул. В качестве сырья использовались: болотная железная руда с содержание железа – 43%; в качестве топлива – торфяное сырье, пластичное, с исходной влажностью 75%; флюс – доломитовая мука ГОСТ 14050-93. В качестве оборудования применялись: щековая дробилка, просеивающая машина Retsch AS200 Control, весы лабораторные Госметр ВЛЭ-423С с точностью до 0,001 г, мерный стакан, мензурка с точностью до 0,1 мм, фильера для формования с длиной калибрующей части 34 мм и диаметром 16 мм, ступа и пестик для смешивания и перетирания смеси компонентов. Внешние условия в лаборатории при проведении экспериментов: температура окружающей среды – +23° С, атмосферное давление – 755 мм рт.ст., влажность воздуха – 30%.

В процессе подготовительных операций выполнялось дробление и просеивание железной руды, для эксперимента была выбрана фракция с размером зерен 0,25-0,50 мм. Определена насыпная плотность порошка железной руды – 1106 кг/м^3. Из образца торфяного сырья предварительно были удалены древесные включения, затем торф был подвергнут диспергированию путем истирания. Определена плотность торфа – 1009 кг/м^3 при влажности 75%.

Основной целью выбора состава и технологии производства композиционной продукции является обеспечение заданных свойств готовой продукции, которые определяются свойствами отдельных компонентов, их количественным соотношением, а также содержанием влаги в смеси и характером операций, которым смесь подвергается в процессе дальнейшей переработки [11]. Подготовленные железную руду и торфяное сырье смешивали в соотношениях 1:1,8 (первая серия) и 1:2,8 (вторая серия) с добавлением 2% доломитовой муки в качестве флюса; процедура перемешивания компонентов производилась до получения гомогенной смеси. Путем экструзии с помощью пуансона и фильеры из полученных смесей были сформованы цилиндрические гранулы длиной 24 и 38 мм. Сушка полученных топливно-плавильных гранул проводилась на сетчатой подложке на воздухе в лабораторных условиях до влажности 25%.

После сушки получились прочные цилиндрические топливно-плавильные гранулы. Среднее значение коэффициента относительной

объемной усадки у образцов первой серии β_1 = 24,5%, у образцов второй серии – β_2 = 36,2%.

Так как химический состав и размер гранул задаются до гранулирования, одной из важных эксплуатационных характеристик считаются показатели механической прочности топливно-плавильных материалов.

На основании анализа эксплуатационных применения условий топливно-плавильных материалов было выявлено, что гранулы в процессе эксплуатации, в первую очередь, испытывают ударные нагрузки, при загрузке бункеров или каких-либо других аппаратов или при отгрузке потребителю. Раздавливающие нагрузки действуют в случае накопления в бункерах или штабелях на складах и при перевозках в вагонах. При нахождении окускованных материалов в металлургических печах шахтного типа, нагрузка на нижние слои не превышает 0,3-0,5 МПа [6].

Для определения прочности полученных образцов топливно-плавильных материалов на устойчивость к удару при падении используется методика, при которой партию гранул сбрасывают на металлическую плиту с высоты 1,5-2,0 м. Во всех вариантах считается, что гранулы должны выдерживать 5-7 ударов [5].

Для определения сопротивления удару было выбрано по два образца разной длины из каждой серии, которые в дальнейшем сбрасывались с высоты 2 м на металлическую плиту. Образцы из первой серии полностью разрушались после 8 ударов. Образцы из второй серии при 10 ударах приобретали лишь незначительные трещины.

Таким образом, проведенные лабораторные исследования по окускованию топливо-плавильных смесей с использованием низкосортных топлив (торфяного топлива) и без использования связующих добавок, подтвердили возможность получения таких композиций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Cooper M. et al.* Research and Development for Storage, Transport and Handling of Coal-Based Fuels / Proceedings of the Sixth Annual Coal Preparation, Utilization and Environmental Control Contractors Conference. August 6-9, 1990, С. 26-34.

2. *White D.H.* Pelletizing and briquetting of coal fines using binders produced by liquefaction of biomass, U.S. Patent 5916826 A, June 29, 1999.

3. *Березовский Н.И.* Технология добычи и переработки торфа: учебно-методическое пособие по выполнению курсовой работы для студентов специальности 1-36 13 01 «Технология и оборудование торфяного производства» / Н.И. Березовский, И.Е. Рухля, С.Н. Березовский. – Минск: БНТУ, 2012. - 25 с.

4. *Булынко М.Г.* Технология торфобрикетного производства / М.Г. Булынко, Е.Е. Петровский. – М.: Недра, 1968. - 312 с.

5. *Вегман Е.Ф.* Металлургия чугуна / Е.Ф. Вегман, Б.Н. Жеребин, А.Н. Похвиснев и др. Под редакцией Ю.С. Юсфина. - М.: Академкнига, 2004. - 774 с.
6. *Геблер И.В.* О перспективе развития металлургической и химической промышленности в Томской области / И.В. Геблер, С.И. Смольянинов. - Томск: Изд. Томского университета, 1964, С. 3-5.
7. *Геблер И.В.* Топливо-плавильные материалы на основе торфа / И.В. Геблер, С.И. Смольянинов. - Томск: Изд. Томского университета, 1964, С. 8-11.
8. *Горфин О.С.* Оборудование торфоперерабатывающих предприятий / О.С. Горфин, Н.С. Синепольский. - Калинин: Изд-во Калининского государственного университета, 1980. - 82 с.
9. *Мисников О.С.* Процессы переработки торфа и сапропеля: учебное пособие / О.С. Мисников, О.В. Пухова. - Тверь: Тверской государственный технический университет, 2014. - 164 с.
10. *Михайлов А.В.* Требования к торфяному сырью для производства окускованного топлива / А.В. Михайлов, А.В. Большунов, Э.А. Кремчеев, К.В. Епифанцев // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2012, Т. 4, С. 59-63.
11. *Михайлов А.В.* Торфяные ресурсы Северо-западного федерального округа России и перспективы их освоения / А.В. Михайлов, С.Л. Иванов, А.В. Большунов, Э.А. Кремчеев // Записки Горного института, 2013, Т. 2, С. 226-230.
12. *Максаров В.В.* Машины и оборудование: учебник / В.В. Максаров, А.В. Михайлов, С.Л. Иванов. – СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2015.
13. *Смольянинов С.И.* Испытание торфяных топливо-плавильных материалов в лабораторной доменной печи / С.И. Смольянинов, В.С. Архипов, Г.Г. Криницын / Томск: Изд. Томского университета, 1977, С. 19-22.
14. *Сысоев Б.Д.* Использование торфа для газификации путем применения его в качестве металлургического топлива / Торфяная промышленность, 1959, Т. 1, С.13-15.
15. Проект энергостратегии Российской Федерации на период до 2035 года (редакция от 01.02.2017) / Министерство энергетики Российской Федерации https://minenergo.gov.ru/node/1920/.

УДК 620.193

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СКАНЕРА МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТОЙКОСТИ ТРУБОПРОВОДНЫХ СТАЛЕЙ К «РУЧЕЙКОВОЙ» КОРРОЗИИ

Кривокрысенко Елена Анатольевна,
группа НТМ-17,
Попов Григорий Геннадьевич,
Касьянов Александр Владиславович,
аспиранты,
Санкт-Петербургский горный университет

Аннотация. В статье показана возможность оценки стойкости трубопроводных сталей к «ручейковой» коррозии с помощью сканера механических напряжений StressVision, сделаны выводы о влиянии надреза и воздействия агрессивной среды на напряженно-деформированное состояние деформированных металлических фрагментов.

Ключевые слова: «ручейковая» коррозия; сканер механических напряжений StressVision; нефтепромысловый трубопровод

USING MECHANICAL STRESS SCANNER TO ESTIMATE THE RESISTANCE OF PIPELINE STEELS TO «GROOVING» CORROSION

Krivokrysenko Elena,
group NTM-17,
Popov Grigoriy,
Kasyanov Alexandr,
postgraduate students,
Saint-Petersburg Mining University

Abstract. The article shows possibility of assessing the resistance pipeline steels to «grooving» corrosion using the StressVision mechanical stress scanner. The conclusions were made about the impact of a notch and the effect of an aggressive medium on the stress-strain state of deformed metal fragments.

Keywords: «grooving» corrosion; mechanical stress scanner StressVision; oil field pipeline

При движении водонефтяных эмульсий по промысловым трубопроводам твердые абразивные частицы интенсивно царапают стенки трубопровода, что инициирует протекание на месте царапин процесса так называемой «ручейковой» коррозии, проявляющейся в образовании на

нижней образующей трубы продолговатого ручейка длиной до 15 м. Несмотря на многочисленные исследования, проведенные по изучению «ручейковой» коррозии [1–7], не разработана единая теория, объясняющая причины возникновения и механизм протекания процесса.

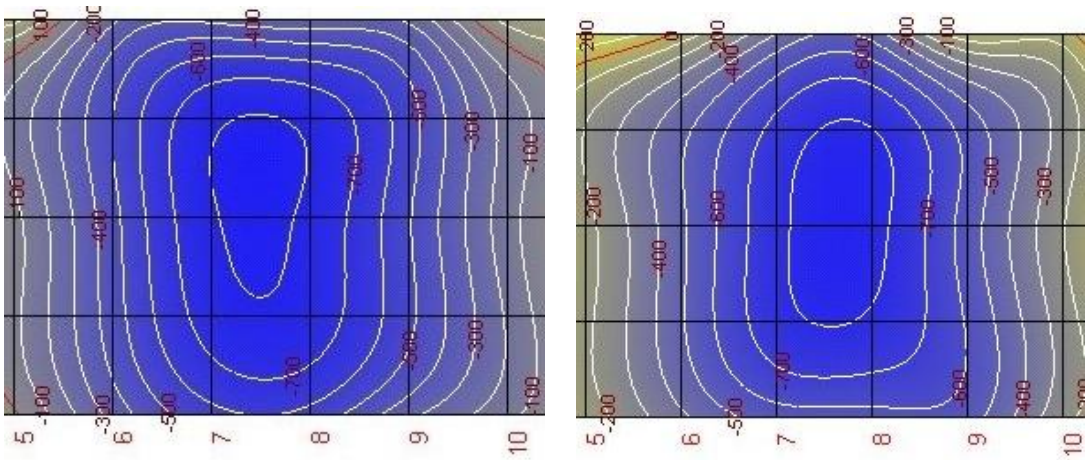
Поскольку, по мнению авторов, углубление царапины вследствие коррозионного разрушения сопровождается повышением остаточных напряжений в окружающем царапину металле трубы, их возрастание может служить индикатором протекания процесса коррозии, а сравнение величины остаточных напряжений в фрагменте с царапиной до и после воздействия коррозионной среды может быть использовано для оценки стойкости материала фрагмента к «ручейковой» коррозии.

В качестве способа изучения был выбран способ замера остаточных напряжений на металлических фрагментах с помощью сканера StressVision.

Объектом исследования являлись пластины 180×50×3 мм низкоуглеродистой стали, как материала, использующегося для изготовления промысловых трубопроводов. Пластины подвергались пластической деформации изгибом до различной высоты прогиба Н. В средней части изогнутых пластин на их внутреннюю поверхность наносился надрез глубиной 0,5 или 1,0 мм. Пластины помещались в 3% раствор NaCl, где выдерживались в течение 20 суток при температуре 40˚С. С использованием сканера StressVision определялось распределение остаточных напряжений $\sigma_{ост}$ [у/е] по длине пластин до и после воздействия среды.

Полученные результаты:

1. Изгиб пластины приводит к появлению в зоне пластической деформации металла остаточных напряжений, величина которых в пределах изменения стрелы прогиба заметным образом не изменяется (рис. 1, 2).



а) б)

Рис. 1 - Карты распределения остаточных напряжений в центральной части пластин: (а) - H_1 = 7,83 мм, (б) - H_4 = 8,16 мм

2. Нанесение на деформированную часть металла надреза приводит к уменьшению высоты прогиба пластины и повышению напряжений в ее средней части (рис. 3,б и 4).

3. В результате воздействия коррозионно-активной среды зона повышенных напряжений расширяется, а их интенсивность возрастает (рис. 3,в и 4), что можно объяснить увеличением глубины надреза за счет коррозионного разрушения металла его донной части.

Рис. 2 - График распределения остаточных напряжений по длине пластин:
H_1 = 7,83 мм, H_2 = 7,86 мм, H_3 = 8,06 мм, H_4 = 8,16 мм

Из представленных результатов экспериментов можно заключить, что воздействие агрессивной среды на находящийся в напряженном состоянии металлический фрагмент с надрезом приводит к увеличению уровня остаточных напряжений в металле вблизи надреза, что может служить индикатором протекания процесса коррозии в надрезе.

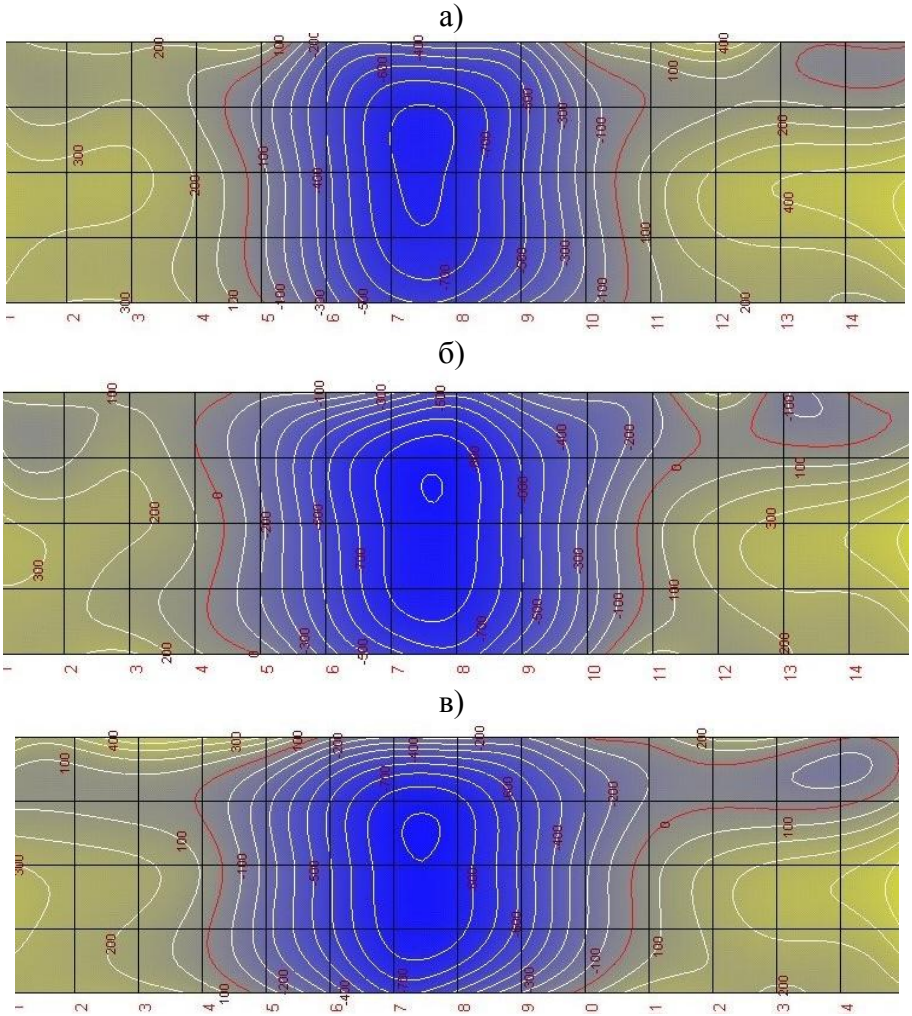


Рис. 3 - Карты распределения остаточных напряжений в пластине:
(а) - до нанесения надреза, (б) - после нанесения надреза; (в) - после воздействия коррозионно-активной среды

Измеряя уровень остаточных напряжений вблизи надреза на изогнутых образцах до и после воздействия коррозионно-активной среды, можно оценить стойкость трубопроводной стали к «ручейковой» коррозии.

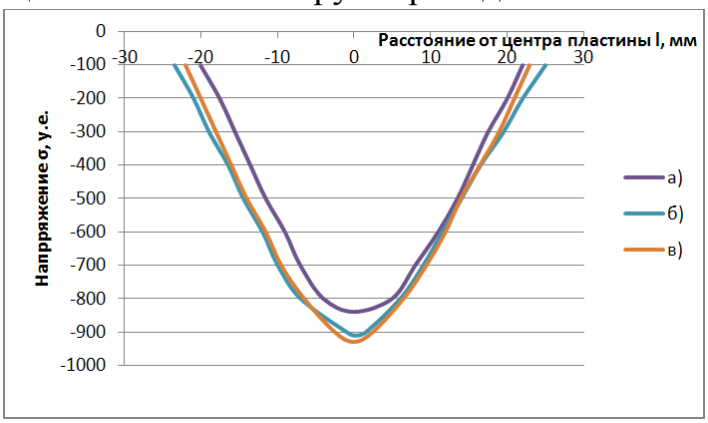


Рис. 4 - График распределения остаточных напряжений по длине пластины:
(а) - до нанесения надреза, (б) - после нанесения надреза; (в) - после воздействия коррозионно-активной среды

На данный способ оценки стойкости трубопроводных сталей к «ручейковой» коррозии готовится заявка на патент.

Способ замера остаточных напряжений с помощью сканера StressVision может быть полезен и для оценки сложно деформированного состояния металлических фрагментов, прошедших различные виды механической и термической обработки, например ВТМО [8-12].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Клисенко Л.Б.* Вероятные причины образования ручейковой коррозии в промысловых нефтепроводах, выявленной при техническом диагностировании / Л.Б. Клисенко, А.П. Лапшин, Д.В. Кудрин / Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения, 2015, Т. 9(22).
2. *Бурков П.В.* Исследование напряженно-деформированного состояния промысловых трубопроводов подвергшихся воздействию ручейковой коррозии / П.В. Бурков, В.П. Бурков, Д.С. Фатьянов, В.Ю. Тимофеев // Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2018, Т. 3.
3. *Чухарева Н.В.* Транспорт скважинной продукции: учебное пособие / Н.В. Чухарева, А.В. Рудаченко, А.Ф. Бархатов, Д.В. Федин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011, С. 159–167.
4. *Макаренко В.Д.* Основы коррозионного разрушения трубопроводов: учебное пособие. - Тюмень: ТюмГНГУ, 2009, С. 168–182.
5. *Султанмагомедов С.М.* Обеспечение безопасной эксплуатации и долговечности промысловых трубопроводов, подверженных канавочному износу: автореф. дис. на соиск. учен. степ. доктора технич. наук (05.26.03) (05.12.13). - Уфа: УГНТУ, 2003. – 48 с.
6. *Попадько Д.В.* Оценка безопасной эксплуатации оболочек с «канавочным износом» методом конечных элементов: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. технич. наук (05.26.03) . - Уфа: УГНТУ, 2004. – 24 с
7. *Гуров С.А.* Повышение ресурса безопасной эксплуатации промысловых трубопроводов на основе применения ингибиторной защиты: дис. канд. технич. наук: 05.26.03. – Уфа, 2004. – 168 с.

8. *Chupin S.A.* Study of the effect of thermomechanical processing of the cutter bit body material on its wear rate. Innovation-Based Development of the Mineral Resources Sector: Challenges and Prospects / S.A. Chupin, V.I. Bolobov, A. Jahr, K.J. Heckmann // 11th conference of the Russian-German Raw Materials, 2018.
9. *Chupin S.* Influence of thermomechanical treatment modes on wear resistance of mining equipment material / S. Chupin, V. Bolobov // Materials Science Forum 945 MSF, 2018.
10. *Chupin S.A.* The investigation of the influence of thermomechanical treatment of the material of rotary cutter bit toolholders on its hardness / S.A. Chupin, V.I. Bolobov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017, Vol. 177(1).
11. *Bolobov V.I.* Effect of strengthening treatment on durability of lining in apatite-nepheline ore ball mills / V.I. Bolobov, V.S. Bochkov // Gornyi Zhurnal, 2017, Vol. 1.
12. *Bolobov V.* About increasing wear resistance of rock-breaking tool to abrasion by using mechanical and thermo-mechanical treatment / V. Bolobov, S. Chupin, V. Bochkov // International Review of Mechanical Engineering, 2017, Vol. 11(5).

УДК 621.373.8

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ПОЛУЧАЕМОЙ ЦВЕТОВОЙ ГАММЫ НА МЕТАЛЛАХ

Кудинова Ирина Владимировна,
группа ТХО-16 ,
Малюшин Иван Михайлович,
группа МНММ-17 ,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра МиТХИ

Аннотация. В данной статье описывается один из первых этапов – создание предварительной базы «параметры излучения – цвет» для последующей систематизации параметров лазерного излучения и получаемой цветовой гаммы.

Ключевые слова: систематизация; лазерная цветная маркировка; свойства материала; база данных; машинное обучение.

SYSTEMATIZATION OF PARAMETERS OF LASER RADIATION AND THE RECEIVED COLOR SCALE ON METALS

Kudinova Irina,
group THO-16 ,
Maliushin Ivan,
group MNMM-17,
Saint-Petersburg Mining University,
Department MiTHI

Abstract. In this article one of the first stages – creation of preliminary base "radiation parameters – color" for the subsequent systematization of parameters of laser radiation and the received color scale is described.

Keywords: systematization; laser color marking; properties of material; database; machine learning

Оксидные структуры некоторых металлов представляют собой один из наиболее интересных классов веществ с разнообразными и перспективными для практического применения свойствами.

При формировании на поверхности металла искусственных оксидных слоев можно получить не только прозрачные защитные покрытия, но и широкий диапазон декоративных цветных оттенков. Оттенки могут возникать как за счет эффекта интерференции оксидной пленки, так и за счет цвета самого окисла.

Появление лазеров, с их уникальной способностью локального управляемого нагрева металлической поверхности, позволило применить эти возможности для формирования на поверхности металлических изделий изображений с использованием всей цветовой палитры, которую можно получить на конкретном металле. При этом получаются долговечные и качественные покрытия без особого повреждения исходного материала.

Разработка технологий в данной сфере позволяет находить новые дизайнерские решения при декорировании металлических изделий с получением стойкого результата [1-6].

На сегодняшний день получаемые отдельными исследователями цветные изображения под воздействием лазерного излучения на металлических поверхностях не имееют единой стандартизированной системы [1-11].

Существование такой системы поможет определить диапазоны параметров, при которых возможно получить цветные изображения на титановых и серебряных сплавах и нержавеющих сталях, Также она может увеличить разнообразие изделий, поскольку появится возможность изменять цвет покрытия по готовым параметрам, тем самым снизить трудозатраты и себестоимость продукции.

Данную базу возможно применять для других лазерных усатновок, так как существуют зависимости их технологических параметров, которые можно вычислить аналитически [12-14].

Представленная работа является началом создания расчетной базы параметров излучения мпульсного волоконного лазера МиниМаркер 2-20А4 и получающихся цветов с помощью нейросетей и машинного обучения. Для этого нами систематизированна небольшая часть данных для последующего выявления корреляционных зависимостей с целью получения предположений о получаемом цвете изображения при использовании тех или иных параметров излучения.

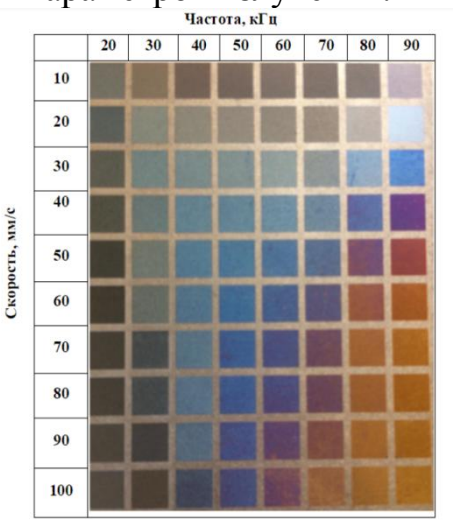


Рис. 1 - Цветовая гамма, полученная на титане (ВТ1-0)

По параметрам излучения заранее выбранных диапазонов были нанесены на выбранные материалы при разных параметрах цветные изображения с фиксированным шагом изменения этих параметров.

Параметры излучения одного из диапазонов изменяются следующим образом: частота от 20 до 90 кГц с шагом 10, скорость от 10 до 100 мм/с с шагом 10, мощность остается неизменной и составляет 25% (4 Вт). Изображение наносилось на сплав титана ВТ1-0 (рис. 1).

Рис. 2 - Фрагмент базы «параметры излучения – цвет»

С помощью программы Adobe Photoshop были определены данные RGB полученных цветов и составлена база “ параметры излучения - цвет”, фрагмент которой представлен на рис. 2. По аналогии были обработаны и другие диапазоны параметров.

Дальнейшим этапом систематизации будут являтся анализ полученных данных и нахождение корреляционных зависимостей с использованием нейросетей и машинного обучения на платформе Google’s TensorFlow.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пряхин Е.И.* Физико-химические аспекты формирования цветовых оттенков под воздействием лазерного излучения при декорировании металлических изделий / Е.И. Пряхин, О.Ю. Ганзуленко, Е.В. Ларионова // Дизайн. Материалы. Технология, 2010, Т. 2(13), С. 52–56.
2. *Пряхин Е.И.* Особенности формирования цветных оксидных пленок на металлической поверхности под воздействием лазерного излучения / Е.И. Пряхин, М.Г. Афонькин, Е.В. Ларионова // Дизайн. Материалы. Технология, 2010, Т. 3(14), С. 75–80.
3. *Ларионова Е.В.* Воздействие лазерного излучения на образование оксидной пленки металлических поверхностей / Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Актуальные проблемы управления техническими, информационными, социально-экономическими и транспортными средствами», 2007, С. 19-32.
4. *Куманин В.И.* Дизайн. История, современность, перспективы / В.И. Куманин [и др.] М., 2011.
5. *Афонькин М.Г.* Формирование цветных структур на поверхности металла лазерным излучением: Монография / М. Г. Афонькин, Е. В. Ларионова. – СПб.: СЗТУ, 2010.
6. *Пряхин Е.И.* Создание и апробация аппаратно-программного комплекса для нанесения информационных полей на поверхности изделий / Е.И. Пряхин, Е.В.Ларионова, Е.А.Захаренко // Записки Горного института, 2014, Т. 209, С. 234-238.
7. *Ганзуленко О.Ю.* Особенности окисления некоторых металлических материалов при декорировании с применением лазерных технологий / О.Ю. Ганзуленко, Е.В. Ларионова, Е.И. Пряхин // Дизайн. Материалы. Технология, 2010, Т. 2(17), С.67–70.
8. *Афонькин М.* Анализ технологических возможностей лазерно-

гравировальных комплексов / М. Афонькин, Е. Ларионова, С. Горный // Фотоника, 2010, Т. 5, С. 4-7.
9. *Афонькин М. Г.* Формирование цветных структур на поверхности металла лазерным излучением: монография / М. Г. Афонькин, Е. В. Ларионова. - СПб.: СЗТУ, 2010. - 205 с.
10. *Кончус Д.А.* Маркировка прецизионным лазером оборудования и деталей машин нефтяной и газовой промышленности / Материалы XVII Международной молодежной научной конференции «Севергеоэкотех-2016» в 6-ти частях, 2016, С. 194-197.
11. *Ганзуленко О.Ю.* Технология маркировки серийных изделий из металлических и полимерных материалов посредством импульсного лазерного излучения / О.Ю. Ганзуленко, Е.В. Ларионова, А.П. Петкова // Материалы научно-практической конференции с международным участием «Неделя науки СПбГПУ», 2014, С. 178-181.
12. *Ганзуленко О.Ю.* Выбор состава сталей с целью получения изображений полной цветовой гаммы на поверхности изделий при импульсном лазерном излучении / О.Ю. Ганзуленко, А.П. Петкова // Записки Горного института, 2014, Т. 209, С. 216-219.
13. *Ганзуленко О.Ю.* Технология лазерной маркировки серийных изделий из металлических и полимерных материалов с целью защиты их от подделок и идентификации / О.Ю. Ганзуленко, Е.В. Ларионова, А.П. Петкова // Науковедение, 2013, Т. 5(18).
14. *Пряхин Е.И.* Лазерная маркировка нанобар-кодом / Е.И. Пряхин, Е.А. Захаренко, Д.А. Кончус, А.В. Сивенков // Профессиональное образование, наука, инновации в XXI веке»: сборник трудов VIII Санкт-Петербургского конгресса 24-25 октября 2014 г., 2014, С. 186-188.
15. *Кончус Д.А.* Лазерная маркировка деталей автомобилей нанобар-кодом / Д.А. Кончус, А.В. Сивенков // Сборник трудов III международной научно-практической конференции «Инновации на транспорте и в машиностроении», 2015, С. 81-84.

УДК 621.316.31

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ АКТИВНО-АДАПТИВНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА

Кузнецов Павел Анатольевич,
аспирант,
Санкт-Петербургский горный университет, Электромеханический факультет

Аннотация. В статье представлена интеллектуальная энергетическая система на основе активно-адаптивного взаимодействия для минерально-сырьевых предприятий. Определены основные элементы и активно-адаптивный принцип взаимодействия между ними. Описано функциональное назначение каждого элемента предлагаемой интеллектуальной энергосистемы. Представлена и обоснована базовая структура и схема управления предлагаемой интеллектуальной энергосистемой. Показано влияние предлагаемой интеллектуальной энергосистемы на уровень энергосбережения и эффективности. Описано практическое применение некоторых основных элементов предлагаемой интеллектуальной энергосистемы.

Ключевые слова: активно-адаптивное взаимодействие; умные системы электроснабжения; автоматизация горных предприятий

INTELLIGENT POWER SYSTEM ON THE BASE OF ACTIVE-ADAPTIVE INTERACTION IN MINERAL-ROW ENTERPRISES

Kuznetsov Pavel,
postgraduate student,
Saint-Petersburg Mining University,
Electromechanical faculty

Abstract. Intelligent power system on the base of active-adaptive interaction in mineral-row enterprises are presented in this paper. The main elements and active-adaptive principle of interaction between them are detected. The functional assignment of each element of proposed intelligent power system are described. The basic structure and control arrangement of proposed intelligent power system are presented and justified. The influence of proposed intelligent power system on the level of energy saving and efficiency are shown. The practical application of some main elements of proposed intelligent power system are described.

Keywords: active-adaptive interaction; smart power supply systems; automation

of mining enterprises

One of the basic Russian Federation energy resources consumers are mineral-row enterprises. Mineral-row production complexes are simultaneously supplied from several power systems of Russian Federation. Under the technological process condition a number of power installations excludes the interruption of the mains supply during 0.15 second and less. Energy consumers includes fair quantity of installations which can be used for controllable load and taking part in energy consumption control. In addition the wide spread occurrence of alternative energy sources in mineral-row production complexes is typical, which causes the ability of energy fluxes multidirectional movement. Mineral-row production enterprises are equipped of network protection and automatic devices, which allows to produce the automatic standby activation and structuring of electrical networks by means of automatic sectioning devices.

However the existing schematic and technical decisions don't ensure properly the using of latest technical abilities of intelligent power systems and power supply systems control and monitoring energy technologies for power efficiency increasing of mineral-row complex enterprises and power supply companies including more effective control of electrical energy fluxes at the expense of exchange and control of information about operating conditions of mineral-row production enterprises consumers.

The main aim of researches is the creation of methodology and substantiation of structure and parameters of information-management systems of communication between intelligent power systems and electrical networks mineral-row enterprises, ensures power consumption control in normal and extreme operation conditions on the assumption of power supply regularity of first and special energy supplying category mineral-row production complex objects and power inputs minimization and power efficiency increasing.

At the mineral-row enterprises over the last 10 years were extended following basic directions in the field of decrease in a power component in the cost price of extracted mineral-row, increase of efficiency of an electrical supply, power savings and power efficiency:

- frequency regulation of the technological installations electric drive of mineral-row extracting for the extracting equipment productivity management;
- increase of the power quality degree and maintenance of electromagnetic compatibility of electric equipment;
- maintenance of reliability and uninterrupted operation of responsible consumers power supply with use of alternative and renewed energy sources;
- management of power consumption mode by regulation voltage mode with revealing of defining joining and the analysis of schedules of electric loadings.

Increase of power savings and power efficiency level, maintenance of reliability and increase of efficiency of an electrical power supply of the mineral-row enterprises is probably only at joint realization of the specified directions taking into account following key factors:

- degree of consumers deconcentration;

- correlation of responsible and irresponsible consumers;
- presence or absence of the centralized electrical supply.

At joint realization of the specified directions on increase of power savings and power efficiency level, there is a necessity of information-operating interaction between the key elements involved in performance of various functions, thus the power supply system gets property of intelligence, therefore there is a necessity of introduction of the new term: an intelligent power supply system.

The intelligent power system should include elements and subsystems supporting an appropriate power quality degree and electromagnetic compatibility, to provide demanded level of reliability and uninterrupted operation of an electrical supply, including alternative renewed energy sources applying possibility, to support appropriate level of power supply mode stability with possibility of an operational administration of electric network configuration, by automatic sectioning, to provide an optimum voltage mode by the set criteria, to carry out the complex automated control of level of power consumption, power efficiency and power inputs, to carry out structuring of consumers under possibility of situational management of loading in the conditions of interaction of control centers.

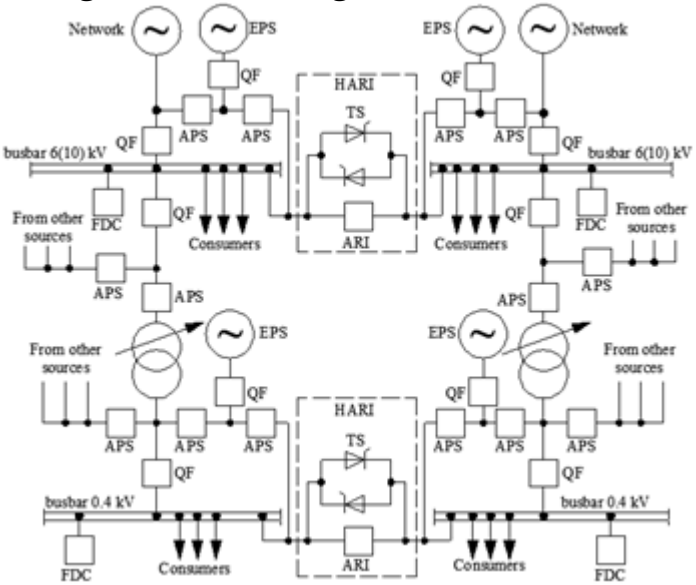


Fig. 1 - The intelligence power system of mineral-row enterprise basic structure

In fig. 1 the structure of intellectual power supply system of mineral-row enterprise (EPS – emergency power supply source; TS – thyristor switchboard; APS – automatic point of sectioning; FDC – filter device of compensation; SAF – shunt active filter; HARI – high-speed automatic reserve input; ARI - automatic reserve input; QF - breaker), developed on the basis of results numerous theoretical and the experimental researches spent by authors at various times, in electric networks of the oil-extracting enterprises, and containing all key elements which are carrying out declared above function is shown.

The structure and parameters of multilevel system of an electrical supply of mineral-row objects with sectioning of an electric network sites by means of perspective means of telecontrol and remote sites switching is proved. The basic element of the given system are automatic point of sectioning (APS) or recloser, providing change of network configuration, by switching of its various sites depending on damages and emergencies presence, and the thyristor switchboard (TS), intended for management of energy streams.

Means and methods of electromagnetic compatibility maintenance, power quality control and improvement of quality of electric energy on mineral-row objects are developed. Basic elements in this case are passive and hybrid filter

devices of compensation (FDC), active systems of correction of current and voltage curves form on the basis of shunt active filters (SAF), the automated complex monitoring system of power quality and power consumption level (Abramovich et al. 2009).

The qualifier of mineral-row electric energy consumers by criterion of possibility of their participation in management of power consumption and intelligent maintenance of a power supply system is created.

The efficiency of reactive power streams control in mineral-row electric networks by means of electromechanical complexes with synchronous engines and thyristor excitation is proved.

The complex comparative analysis of technical characteristics and functionality of mineral-row electric networks and feeding power supply systems of various structures with revealing of the laws is carried out, allowing making information-operating interaction for intelligent electric networks.

The efficiency of intelligent power system structure control with use of means of high-speed automatic input of a reserve (HARI) on the base of thyristor systems of automatic input of a reserve (TSARI) and systems of a digital control streams of reactive power is proved.

The complex system of relay protection and electro-network automatics on the basis of microprocessor devices with is free-programmed logic is developed.

The technique of electric networks neutral mode choice is developed for increase of revealing and elimination efficiency of various types of short circuits on the earth.

The methodology is developed and the structure and parameters of information-operating interaction systems of intelligent electric networks of mineral-row power supply system and networks providing energy consumption control in normal and extreme modes under condition of uninterrupted operation of power supply of mineral-row consumers of the first and special group of first reliability category, minimization of power inputs and increase of power efficiency is proved.

The structure and technique of key parameters choice of guaranteed power supply system for mineral-row consumers with use of sources of emergency power supply (EPS), functioning on the basis of the alternative renewed energy sources is developed, allowing to avoid occurrence of emergencies and infringement of technological process continuity taking into account the revealed duration of a voltage failure at which steady work of electric motors of the process equipment is broken.

The functioning algorithm of the automatic control block (ACB) of power transformer transformation factor is developed for the voltage mode efficient control in mineral-row enterprises conditions, based on a choice of joining defining a voltage mode by means of theory of indistinct logic methods, including processing of linguistically formulated expert knowledge by means of the indistinct controller. Formation of the knowledge base on the basis of indistinct rules and expert estimations allows more effectively and to analyze objectively various parameters and the factors characterizing the voltage mode of electric

network.

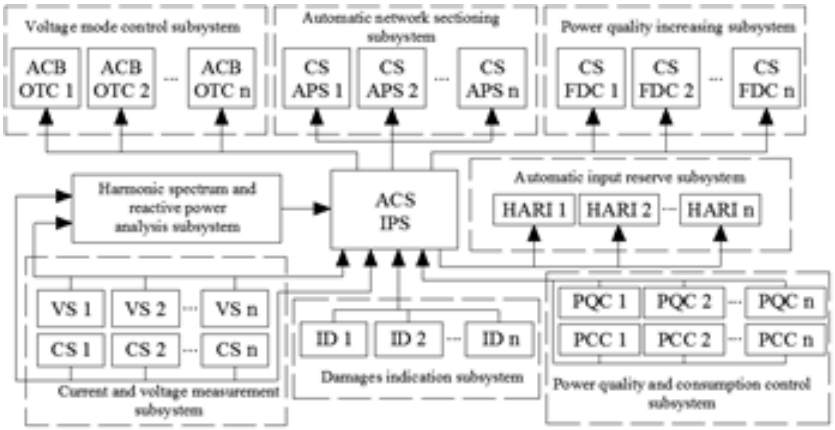


Fig. 2 - Generalized structure of a control system of intelligent power supply system

In fig.2 the generalized structure of a control system of intelligent power supply system for mineral-row enterprise is shown (OTC – on load tap changer device; CS – control system; ACS IPS – the automated control system of intelligent power system; ID – the indicator of damages; CS, VS – accordingly current and voltage sensors; PQC and PCC – accordingly devices of power quality and power consumption control).

In the leading Russian Federation mineral-row enterprises conditions by authors over the last 10 years are at various times developed and introduced, both in common, and separately, following basic elements of proposed intelligent power supply system:

- the automated monitoring systems and the power consumption account;
- the current and voltage form curves active correction systems on the basis of shunt active filters;
- the electromechanical complexes with synchronous engines as consumers-regulators;
- the control systems of distributive networks configuration on the basis of methods and means of automatic sectioning;
- the guaranteed electrical supply systems on the basis of uninterrupted power supply with use of alternative and renewed energy sources;
- the automated control system of voltage mode with use of fuzzy logic theory methods.

Active correction systems of voltage and current form curves form on the basis of shunt active filters and complex power quality monitoring systems are introduced on deposits of JSC «Orenburgneft» THK-BP (Abramovich et al. 2010). The high-speed devices of automatic reserve input and the guaranteed power supply systems are developed for conditions of deposits of JSC «RN-Juganskneftegaz» «NK Rosneft». The automated power consumption monitoring and account systems and automated power supply control systems are introduced on deposits of JSC «Tatneft» and on objects of JSC «PO-Kirishinefteorgsintez». A number of actions for the organization of regime interaction between the centralized power supply system and electric power consumers is introduced on deposits of JSC «Tatneft».

Economic benefit of application of the basic components of proposed intelligent power system averages from 300000 to 700000 $ per year depending on quantity of the introduced elements and parameters of mineral-row enterprises electric networks.

The most significant results of working out and introduction of proposed intelligent power systems at the mineral-row enterprises will be:

decrease in losses of mineral-row recovery by exception of electrical supply infringement of the basic responsible consumers defining the basic technological indicators of the mineral-row enterprises;

- minimization of additional capital investments on development of mineral-row enterprises electric networks;

- decrease in losses of the electric power in distributive electric networks and power supply systems;

- increase of power savings and power efficiency level.

The basic structure of intelligent power system for mineral-row enterprises is created. The positive influence on power safety and efficiency level of proposed intelligent power system is proved. The main elements of proposed intelligent power system and their functions are defined. The basic structure of control system for proposed intelligent power system is created. The most significant results of proposed intelligent power system applying are detected.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Abramovich B.N.* The shunt active filters implementation for power quality increasing in electrical networks of Priobskoye deposit / B.N. Abramovich, Yu.A. Sychev, V.A. Burchevskly, A.A.Vyrva, R.A. Ulbaev, V.V. Polishuk // Oil Industry, 2011, Vol. 6, C. 130-132.

2. *Dasgupta A.* Design and Control of Matrix Converters / A. Dasgupta, P. Senasama // Springer, 2017.

3. *Walter H.* Numerical Simulation of Power Plants and Firing Systems / H. Walter, B. Epple // Springer, 2017.

4. *Khadkikar V.* Implementation of single-phase synchronous d-q reference frame controller for shunt active filter under distorted voltage condition / V. Khadkikar, M. Singh, A. Chandra, B. Singh // Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES), 2010, C. 1.

5. *Golestan S.* Second order generalized integrator based reference current generation method for single-phase shunt active power filters under adverse grid conditions / S. Golestan, M. Monfared, and J. Guerrero // Power Electronics, Drive Systems and Technologies Conference (PEDSTC), 2013, C. 510-517.

6. *Brazilovich Je.* Question of Mathematical Relliability theory Radio and Connection / Je.Ju. Brazilovich, Ju.K. Beliaev, V.A. Kashtanov and oth., 1983, 376.

7. *Kuznetsov P.A.* Synchronisation of islanded networks with distributed generation using SST / P.A. Kuznetsov, Y.A. Sychev, B.N. Abramovich // Proceedings of the 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus, 2019, C. 578-583.

8. *Abramovich B.N.* Efficiency Estimation of Hybrid Electrotechnical Complex for Non-Sinusoidal Signals Level Correction in Autonomous Power Supply Systems for Oil Fields / B.N. Abramovich, Y.A. Sychev, P.A. Kuznetsov, R.Yu. Zimin //

IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 194(5), 052001.
9. *Kovaliov A.P.* Assessment of fire safety in movable transformaing substations Industrial Power Energy / A.P. Kovaliov, A.V. Shevchenko, I.V. Belousenko, 1991, 6.
10. *Huang Yu.* Electrical Power Unit Commitment / Yu. Huang, P.M. Pardalos, Q.P. Zheng // Springer, 2017.
11. *Abramovich B.N.* On the elimination of voltage and current harmonics created by uninterruptible power supply / B.N. Abramovich, Yu.A. Sychev, A.S. Mingazov, V.V. Polishuk // Oil Industry, 2013, Vol. 10, C. 126-127.
12. *Kuznetsov P.A.* Reactive Power Compensation Automated Systems Application to Prevent Blackouts / P.A. Kuznetsov, O.A. Stepanov // Aerospace MAI Journal, 2017, Vol.4, C. 157-163.
13. *Peng F.Z.* Generalized Instantaneous reactive powertheory for three-phase power systems / F.Z. Peng, J.S Lai // IEEE Trans. on Inst. and Meast, 1996, Vol. 45(1), C. 293-297.
14. *Abramovich B.N.* Shunt active correction system analysis in conditions of industrial enterprises networks / B.N. Abramovich, Y.A. Sychev // International Journal of Applied Engineering Research, Vol. 11(4), C. 2640-2645.

УДК 621.3.031

АВТОНОМНЫЙ КОМПЛЕКС ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ УТЕЧЕК НЕФТИ В ТРУБОПРОВОДАХ

Куксов Николай Александрович,
Сафонова Полина Алексеевна,
группа ПЭ-15,
Санкт-Петербургский горный университет, Электромеханический факультет, кафедра электронных систем

Аннотация. В настоящее время проблемы, связанные с авариями в нефтедобывающей отрасли, в частности при транспортировке, стоят наиболее остро. Существует широкий спектр методов контроля состояния трубопровода, но при этом требуются значительные капиталовложения для обеспечения оборудования электроэнергией. В данной работе рассматривается использование термоэлектрических модулей в составе автономного комплекса электроснабжения систем обнаружения утечек жидких углеводородов.

Ключевые слова: термоэлектрический генератор; альтернативные источники электроэнергии; системы обнаружения утечек углеводородов; транспортировка углеводородов

AUTONOMOUS COMPLEX OF POWER SUPPLY OF DETECTION SYSTEM FOR LIQUID HYDROCARBON LEAKAGE

Kuksov Nikolay Aleksandrovich,
Safonova Polina Alekseevna,
group IE-15,
Saint-Petersburg Mining University,
Electromechanical faculty, Department of electronic systems

Abstract. At present, the problems associated with accidents in the oil industry, particularly during transportation, are most acute. There is a wide range of methods for monitoring the condition of the pipeline, but it requires significant investments to supply equipment with electricity. This paper discusses the use of thermoelectric modules as part of an autonomous power supply system for leak detection of liquid hydrocarbons.

Keywords: thermoelectric generator; alternative energy sources; leakage detection system; hydrocarbon transportation

В связи с увеличением количества чрезвычайных ситуаций в нефтедобывающей отрасли, которое обусловлено ростом добычи нефти и износом основных производственных фондов (в частности, трубопроводного транспорта), негативное воздействие разливов нефти на окружающую среду становится все более существенным. Поэтому обеспечение безопасной и надежной эксплуатации нефтепроводов представляет собой первостепенную задачу, для решения которой используются различные системы обнаружения утечек (СОУ) нефти.

Одной из проблем СОУ жидких углеводородов является то, что зачастую нефтепроводы находятся в труднодоступных местах, а минимальная рекомендуемая частота установки пунктов сбора данных — 1 датчик давления на 20 км трубопровода. Поэтому возникают затруднения или вовсе становится невозможным обеспечить электрической энергией шкафы СОУ, датчики давления, расходомеры и другое оборудование, необходимое для стабильной работы систем.

С учетом того, что среднее потребление электроэнергии нижним (датчики давления, расходомеры) и средним (контроллер) уровнями таких СОУ менее 5 Вт [1], предлагаемый способ электроснабжения — источник питания на основе термоэлектрических модулей (ТЭГ). Такое решение будет отличаться автономностью, энергонезависимостью, высоким сроком службы и отсутствием необходимости в частом обслуживании.

На рис. 1 представлен принцип выработки электроэнергии для питания систем обнаружения утечек нефти.

Термоэлектрогенератор наиболее эффективен в зимнее время года, когда средняя температура окружающей среды минус 20°С, а температура нефтепровода может достигать 60°С [2].

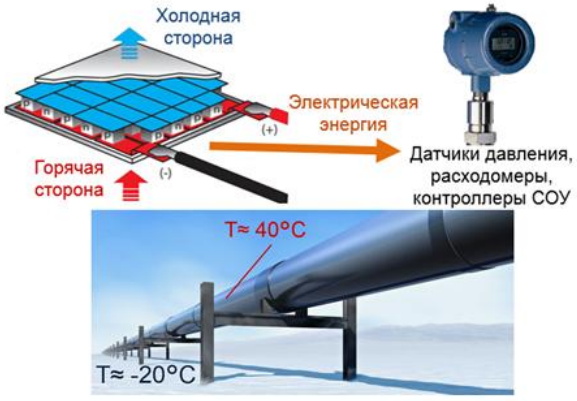


Рис. 1 - Использование ТЭГ в системе контроля утечек

Оценка эффективности работы в положительном и отрицательном диапазонах температур представлена на рис. 2.

Разница температур достигалась нагреванием горячей стороны путем пропускания тока через резисторы и охлаждением холодной стороны модуля при помощи сухого льда (≈ –72°С).

Полученные результаты позволяют говорить о возможности применения данных модулей для автономного электроснабжения СОУ жидких углеводородов в трубопроводе любого диаметра в различных климатических условиях. Такой продукт решает не только проблему энергоэффективного электроснабжения систем обнаружения утечек, но и, благодаря возможности более частой установки данных систем, а также их установки в труднодоступных местах, уменьшает время поиска места аварий на нефтепроводах, что снижает как негативное

воздействие на окружающую среду, так и финансовые затраты предприятий на ликвидацию аварий.

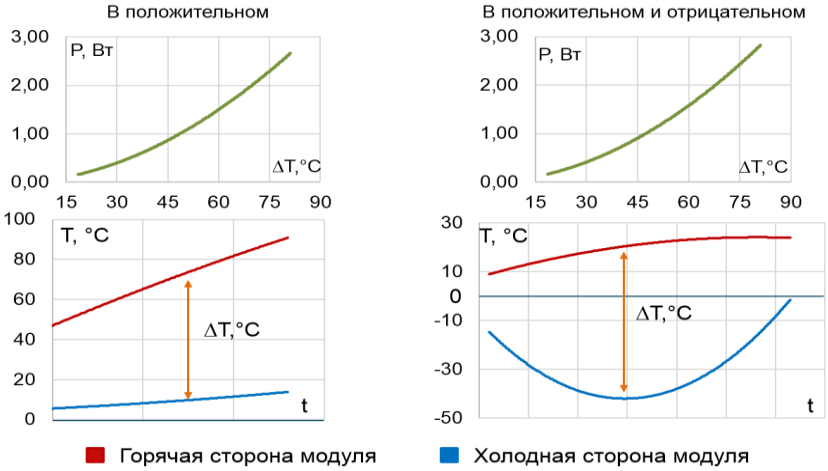


Рис. 2 - Результаты обработки данных, полученных в ходе лабораторного опыта

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Владимиров В.А.* Разливы нефти: причины, масштабы, последствия. Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования, 2014, Т. 1, С. 217–229.

2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 году». - М.: Минприроды России; НИА-Природа, 2016. - 639 с.

3. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году». - М.: Минприроды России; НИА-Природа, 2017. - 760 с.

4. Проект Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году». - М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2018. - 896 с.

5. *Kopteva A.V.* Automatic Measuring System for Oil Stream Paraffin Deposits Parameters / A.V. Kopteva, V.Y. Koptev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, Vol. 327, 042053.

8. ЭТМС.СТО 7.2.1-030-2015. Общие технические требования. Система обнаружения утечек. - М., 2016. - 40 с.

9. *Abramovich B.N.* Electrical complex of combined power supply on the base of renewables and hybrid correction device / B.N. Abramovich, Yu.A. Sychev, V.B. Prokhorova // 20th Conference of Open Innovations Association (FRUCT), 2017, С. 3-9.

10. *Gukovskiy Yu.L.* The automatic correction of selective action of relay protection system against single phase earth faults in electrical networks of mining enterprises / Yu.L. Gukovskiy, Yu.A. Sychev, D.N. Pelenev // International Journal of Applied Engineering Research, 2017, Vol. 12, С. 833-838.

11. *Belsky A.A.* Simulation of Dynamic Operating Modes of a Hybrid Wind Power Plan / A.A. Belsky, D.I. Ivanchenko // Advances in Environmental Biology, 2014, Vol. 8(13), C. 464-467.

УДК 621.311.26

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АВТОНОМНОГО КОМПЛЕКСА ЭЛЕКТРОПОТРЕБИТЕЛЕЙ И КОМБИНИРОВАННОЙ ВЕТРО-СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ, РЕЗЕРВИРУЕМОЙ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРАМИ И АККУМУЛЯТОРАМИ

Лаврик Александр Юрьевич,
аспирант,
Санкт-Петербургский горный университет, кафедра электроэнергетики и электромеханики

Аннотация. В статье представлена имитационная модель, созданная в программном пакете MATLAB Simulink, позволяющая моделировать режимы работы комплекса потребителей и гибридной ветро-солнечной электростанции, резервируемой дизельными генераторами и аккумуляторами. Предложен алгоритм минимизации числа пусков и остановов дизель-генераторных установок, функционирующих в составе электростанций с возобновляемыми источниками энергии. Осуществлено имитационное моделирование работы комплекса на протяжении года, проанализированы результаты внедрения алгоритма, реализованного на нечёткой логике.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии; дизель-генераторная установка; дизельная электростанция; нечёткая логика

MODELING OF OPERATION MODES OF THE AUTONOMOUS COMPLEX OF ELECTRIC CONSUMERS AND COMBINED WIND-SOLAR POWER PLANT, RESERVED BY DIESEL-GENERATORS AND BATTERIES

Lavrik Aleksandr,
postgraduate student,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Elecrtical energy and Electrical Mechanics

Abstract. In this paper a simulation model created in the software package MATLAB Simulink, which allows to simulate the modes of operation of a complex of consumers and a hybrid wind-solar power station reserved by diesel-generators and batteries is presented. The article proposes an algorithm to minimize the number of starts and stops of diesel generators operating as part of power plants with renewable energy sources. Simulation modeling of the complex

was carried out throughout the year, and the results of the implementation of the algorithm implemented in fuzzy logic are demonstrated.

Keywords: renewable energy sources; diesel generator set; diesel power plant; fuzzy logic

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) в локальных автономных системах электроснабжения России, до 70% территории которой не охвачено центральным электроснабжением, являются действенным инструментом повышения эффективности энергетического комплекса [1]. При этом всё большее распространение в мире получают гибридные электростанции на основе нескольких ВИЭ [2-4]. Как правило, они представляют собой ветро-солнечные электростанции, резервируемые дизель-генераторными установками (ДГУ) и (или) аккумуляторными батареями.

Вместе с тем, высокий коэффициент вариации электрической нагрузки потребителей приводит к возникновению ситуаций, при которых ДГУ работают в граничных режимах с частыми пусками и остановами. Это приводит к ряду негативных последствий: сокращается срок службы ДГУ, увеличивается расход топлива [5]. Аналогичные нежелательные явления проявляются и по причине работы ДГУ на малую нагрузку, что часто происходит в таких тяжёлых режимах. Кроме того, в районах с суровым климатом нужно учитывать увеличение потребления дизельного топлива в результате снижения мощности ДГУ, вызванного влиянием отрицательных температур на вязкость топлива [6]. Возможные решения данной проблемы заключаются в оптимизации алгоритмов, управляющих работой дизельной электростанции.

В статье представлена имитационная модель (рис. 1), построенная в программном пакете MATLAB Simulink и позволяющая осуществлять моделирование режимов работы гибридной ветро-солнечной электростанции, резервируемой дизель-генераторами и аккумуляторами.

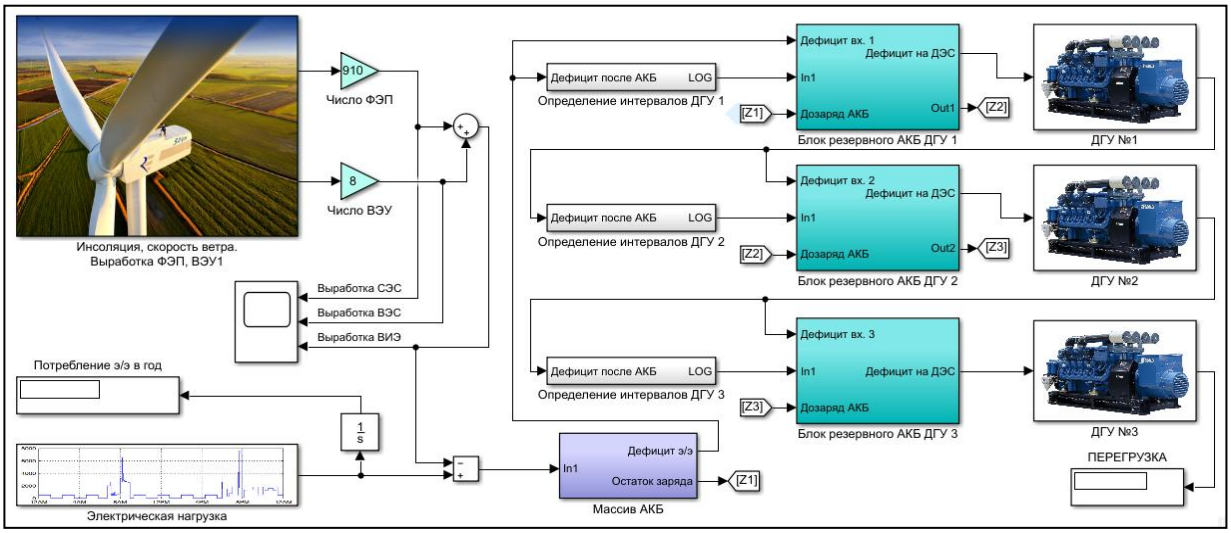


Рис. 1 - Созданная в MATLAB Simulink имитационная модель режимов работы гибридной ветро-солнечной электростанции, резервируемой дизельными генераторами и

аккумуляторами

Предложен алгоритм предотвращения работы ДГУ в граничных режимах, основанный на нечёткой логике и позволяющий сократить число её пусков и остановов. Моделирование системы с предлагаемым алгоритмом осуществлено для условий населённого пункта Новиково Сахалинской области. В качестве исходных данных взяты графики суточного хода среднего потребления электрической энергии для каждого месяца, а также почасовые значения инсоляции и скорости ветра за 2018 год.

В результате получены данные о технико-экономических показателях работы комплекса: капитальных и эксплуатационных затратах, себестоимости электроэнергии, выбросах CO_2, энергии дампа, а также сделаны выводы об эффективности алгоритма минимизации переключения ДГУ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Асманкин Е.М.* К вопросу развития энергосберегающих технологий в АПК / Е.М. Асманкин, С.В. Юмакаева, М.Б. Фомин и др. // Известия Оренбургского аграрного государственного университета, 2012, Т. 34(1), С. 77-79.

2. *Abdel-Karim D.* Simulation of a hybrid power system consisting of wind turbine, PV, storage battery and diesel generator: design, optimization and economical evaluation / D. Abdel-Karim, M. Ismail, W. Kukhun, M.M. Marwan // International Journal of Energy Engineering, 2011, Vol. 1, C. 56-61.

3. *Туровин О.А.* Применимость ветро-солнечной энергетики в качестве альтернативного источника электроснабжения нефтяных объектов компании / О.А. Туровин, Е.Н. Огнев, А.Е. Кочнев // PROНЕФТЬ. Профессионально о нефти, 2017, Т. 2, С. 69-74.

4. *Al-falahi Monaaf D.A.* A review on recent size optimization methodologies for standalone solar and wind hybrid renewable energy system / D.A. Al-falahi Monaaf, S.D.G. Jayasinghe, H. Enshaei // Energy Conversion and Management, 2017, Vol. 143, C. 252-274.

5. *Gan L.K.* Optimised operation of an off-grid hybrid wind-diesel-battery system using genetic algorithm / L.K. Gan, J.K.H. Shek, M.A. Mueller // Energy Conversation and Management, 2016, Vol. 126, C. 446-462.

6. *Лукутин Б.В.* Способы снижения расхода топлива дизельных электростанций / Б.В. Лукутин, Е.Б. Шандарова // Современные проблемы науки и образования: электронный научный журнал, 2013, Т. 2.

УДК 621.311.26

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА КОМБИНИРОВАННОЙ РЕЗЕРВИРУЕМОЙ ВЕТРО-СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В УСЛОВИЯХ ЯКУТИИ

Лаврик Александр Юрьевич,
аспирант,
Максимов Никита Алексеевич,
группа ЭРБ-15,
Санкт-Петербургский горный университет, кафедра Электроэнергетики и электромеханики

Аннотация. В статье приведена математическая модель автономной комбинированной ветро-солнечной электростанции с резервными дизель-генераторами. Методом итераций с помощью ЭВМ решена задача определения оптимального состава комплекса для выбранных географических условий: тип и установленная мощность ветроэнергетических установок, фотоэлектрических панелей, сетевых инверторов, дизель-генераторных установок. Оптимизация велась по критерию минимальной себестоимости электроэнергии. Методом экстраполяции определены технико-экономические параметры работы комплекса на протяжении всего периода его эксплуатации.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии; ветро-солнечная электростанция; оптимизация, состав

DETERMINATION OF THE OPTIMAL COMPOSITION OF A COMBINED RESERVED WIND-SOLAR POWER PLANT IN THE CONDITIONS OF YAKUTIA

Lavrik Alexandr Yurievich,
postgraduate student,
Maximov Nikita Alexeevich,
group ERB-15,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Elecrtical energy and Electrical Mechanics

Abstract. The article presents a mathematical model of an autonomous combined wind-solar power plant with backup diesel generators. The method of iteration using a computer solved the problem of determining the optimal composition of the complex for selected geographic conditions: the type and installed capacity of wind power plants, photovoltaic panels, network inverters, diesel generator sets.

Optimization was carried out according to the criterion of the minimum cost of electricity. The method of extrapolation determined the technical and economic parameters of the complex during the entire period of its operation.

Keywords: renewable energy sources; wind-solar power station; optimization; composition

Эффективным способом решения проблем с организацией энергоснабжения удалённых территорий, к числу которых относится Арктическая зона, районы Дальнего Востока и Сибири, является использование возобновляемых источников энергии [1]. Наиболее остро этот вопрос стоит для объектов, питающихся от дизельных электростанций, в особенности – на привозном дизельном топливе, что существенно увеличивает затраты на энергоснабжение [2]. Кроме того, необходимо учитывать ненадёжность электроснабжения и экологические проблемы [3].

В настоящее время активное развитие получили комбинированные ветро-солнечные электростанции. Это находит отражение в исследованиях отечественных [4, 5] и зарубежных [6, 7] авторов. Вместе с тем, сложность и нелинейность задачи оптимизации состава генерирующего комплекса приводят, с одной стороны, к большому числу методик его определения, а с другой – к невозможности использования единого алгоритма поиска оптимального решения.

В данной работе на основе математической модели, предложенной в работе [8], составлено математическое описание комбинированного комплекса ветро-солнечной электростанции с резервными дизельными генераторами для посёлка Нижнеянск, республика Якутия. Поскольку оптимизация велась по единственному критерию минимальной себестоимости электроэнергии, был применён методом итераций вместо генетического алгоритма, реализованного в работе [8]. В качестве исходных данных для расчёта были взяты графики суточного хода средней потребляемой мощности для каждого месяца года, а также почасовые значения инсоляции, температуры окружающего воздуха и скорости ветра на протяжении одного года [9]. Были определены капитальные и эксплуатационные затраты с учётом замен оборудования, себестоимость электроэнергии, потребление топлива, энергия дампа, выбросы CO_2. Полученные данные были экстраполированы на весь срок эксплуатации комплекса, выбранный как срок службы фотоэлектрической станции.

В результате был выбран тип и установленная мощность ветроэнергетических установок (1,85 МВт), фотоэлектрических панелей (0,288 МВт), а также рациональное для такой конфигурации ветро-солнечной части комплекса, профиля нагрузки и выбранных географических условий соотношение мощностей дизель-генераторных установок (260 кВт, 125 кВт и 65 кВт). Кроме того, определён оптимальный состав других трёх вариантов – без ветровой, без солнечной и без ветро-солнечной части комплекса. Анализ результатов показал, что в сравнении с постоянным электроснабжением от

дизельной электростанции (оптимальное соотношение мощностей дизель-генераторных установок – 240 кВт, 140 кВт, 70 кВт) позволило снизить себестоимость вырабатываемой электроэнергии более чем в два раза – с 16,58 руб. до 7,51 руб. за кВт·ч.

Также в статье сделан вывод о влиянии предполагаемых режимов работы на оптимальный состав комбинированного комплекса, что говорит о важности определения алгоритмов системы управления на этапе проектирования станции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Попель О.С.* Использование возобновляемых источников энергии для энергоснабжения потребителей в Арктической зоне Российской Федерации / О.С. Попель, С.В. Киселёва, М.О. Моргунова и др. // Арктика: экология и экономика, 2015, Т. 1(17), С. 64-69.
2. *Дубровин Е.А.* Как снизить затраты на углеводородное топлива в Арктике / Энергетика и промышленность России, 2018, Т. 01-02, С. 32-33.
3. *Абрамович Б.Н.* Проблемы обеспечения энергетической безопасности предприятий минерально-сырьевого комплекса / Б.Н. Абрамович, Ю.А. Сычёв // Записки Горного института, 2016, Т. 217, С. 132-139.
4. *Туровин О.А.* Применимость ветро-солнечной энергетики в качестве альтернативного источника электроснабжения нефтяных объектов компании / О.А. Туровин, Е.Н. Огнев, А.Е. Кочнев // PROНЕФТЬ. Профессионально о нефти, 2017, Т. 2, С. 69-74.
5. *Марченко О.В.* Анализ совместного использования энергии солнца и ветра в системах автономного электроснабжения / О.В. Марченко, С.В. Соломин // Промышленная энергетика, 2016, Т. 9, С. 39-43.
6. *Bernal-Agustin J.L.* Design of isolated hybrid systems minimizing costs and pollutant emissions / J.L. Bernal-Agustin, R. Dufo-Lopez, D.M. Rivas-Ascaso // Renewable Energy, 2006, Vol. 31(14), C. 2227-2244.
7. *Palival P.* Determination of reliability constrained optimal resource mix for an autonomous hybrid power system using Particle Swarm Optimization / P. Palival, N. Patidar, R.K. Nema // Renewable Energy, 2014, Vol. 63, C. 194-204.
8. *Ayodele T.R.* Increasing household solar energy penetration through load partitioning based on quality of life: the case study of Nigeria / T.R. Ayodele, A.S.O. Ogunjuyigbe // Sustainable Cities and Society, 2015, Vol. 18, C. 21-31.
9. База данных Renewables.ninja.

УДК 681.3.08

КОНТРОЛЬ УРОВНЯ CO_2 В ПОМЕЩЕНИИ С ПОМОЩЬЮ УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ARDUINO UNO

Лапшина Полина Дмитриевна,
Курилова Софья Павловна,
группа ПЭ-15,
Санкт-Петербургский Горный университет, Электромеханический факультет

Аннотация. Качество воздуха напрямую влияет на самочувствие и работоспособность человека. Высокий уровень концентрации углекислого газа в воздухе может привести к серьезным недомоганиям в организме. В работе рассматривается устройство контроля содержания углекислого газа в воздухе помещения. Разработка выполнена на основе программируемого микроконтроллера Arduino Uno, термокондуктометрического газоанализатора MQ-135, датчика температуры и влажности DHT11 и жидкокристаллического монитора LCD1602 с протоколом I2C. Управляющая программа устройства разработана и скомпилирована в программной оболочке IDE. В ходе эксплуатации устройство с частотой в пять минут выводит данные с датчиков (концентрация углекислого газа, температура и влажность) на жидкокристаллический экран.

Ключевые слова: углекислый газ; Arduino Uno; аппаратные и программные средства для систем автоматизации и робототехники; датчик контроля качества воздуха MQ-135; датчик температуры и влажности DHT11

THE MONITORING OF CO_2 LEVEL INDOOR WITH A HELP OF A DEVICE BASED ON AN ARDUINO UNO MICROCONTROLLER

Lapshina Polina,
Kurilova Sofya,
group PE–15,
Saint-Petersburg Mining University,
Electromechanical Faculty

Abstract. The air quality affects human health and energy. High levels of carbon dioxide in the air can cause serious ailments of a human body. The project is supposed to construct a prototype of the device for monitoring the content of carbon dioxide in indoor air. The development is based on the Arduino Uno microcontroller board, MQ-135 thermal conductivity gas analyzer, temperature and humidity module DHT11 and the LCD1602 module which is a interfaced to an I2C daughter board. The sensor control program is developed and compiled in the

IDE software shell. The operating principle of the device is that it displays the data (CO2 level, temperature and humidity indoor) from the sensors on the LCD screen with a frequency of five minutes.

Keywords: carbon dioxide; Arduino Uno; hardware and software tools for building automation systems and robotics; carbon dioxide sensor MQ-135; temperature and humidity sensor DHT11

Углекислый газ (CO_2) является продуктом жизнедеятельности человека и превышение допустимой концентрации CO_2 может привести к серьезным недомоганиям в организме.

В атмосферном воздухе концентрация CO_2 около 380 ppm (миллионная доля; для доль по объему 1ppm = 1 см^3/м^3). Согласно ГОСТ 30494-2011 под названием «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях», допустимым уровнем CO_2 в помещении считается 600-1000 ppm. Уровень концентрации 400-600 ppm считается нормальным, и рекомендован для детских комнат, спален, школ и детских садов. Концентрация CO_2 выше 1000 ppm приводит к общему дискомфорту, слабости, рассеянному вниманию и головной боли [1].

Первоначальным этапом проектирования устройства (рис. 1) является выбор платформы для разработки. В результате изучения современных аппартно-программных средств для построения простых систем автоматики и робототехники был выбран микроконтроллер Arduino Uno. К преимуществам данного контроллера относится простая и удобная среда программирования, открытый код программы, а также проекты устройств, основанные на Arduino, которые могут работать самостоятельно или взаимодействовать с программным обеспечением компьютера [2].

Следующий этап - выбор датчиков считывания внешней информации. Для считывания уровня CO_2 был выбран термокондуктометрический датчик MQ-135. Датчик измеряет концентрацию CO_2 в промежутке от 0 до 10000 ppm с погрешностью 10%, напряжение питания 3,3-5 В. Данные с датчика передаются на логический вход микроконтроллера при помощи аналогового сигнала [3]. Также к устройству был подключен датчик измерения температуры и влажности - DHT11. Датчик работает при напряжении питания от 3 до 5 В. Встроенный емкостной датчик рассчитан на измерение влажности в диапазоне от 20% до 80% с точностью 5%. Термистор измеряет температуру в диапазоне от 0º до 50º С с точностью 2% [4].

Для вывода информации, получаемой вышеупомянутыми датчиками, используется 2-строчный дисплей LCD 1602 с интерфейсной шиной I2C. Напряжение питания дисплея - 5 В [5].

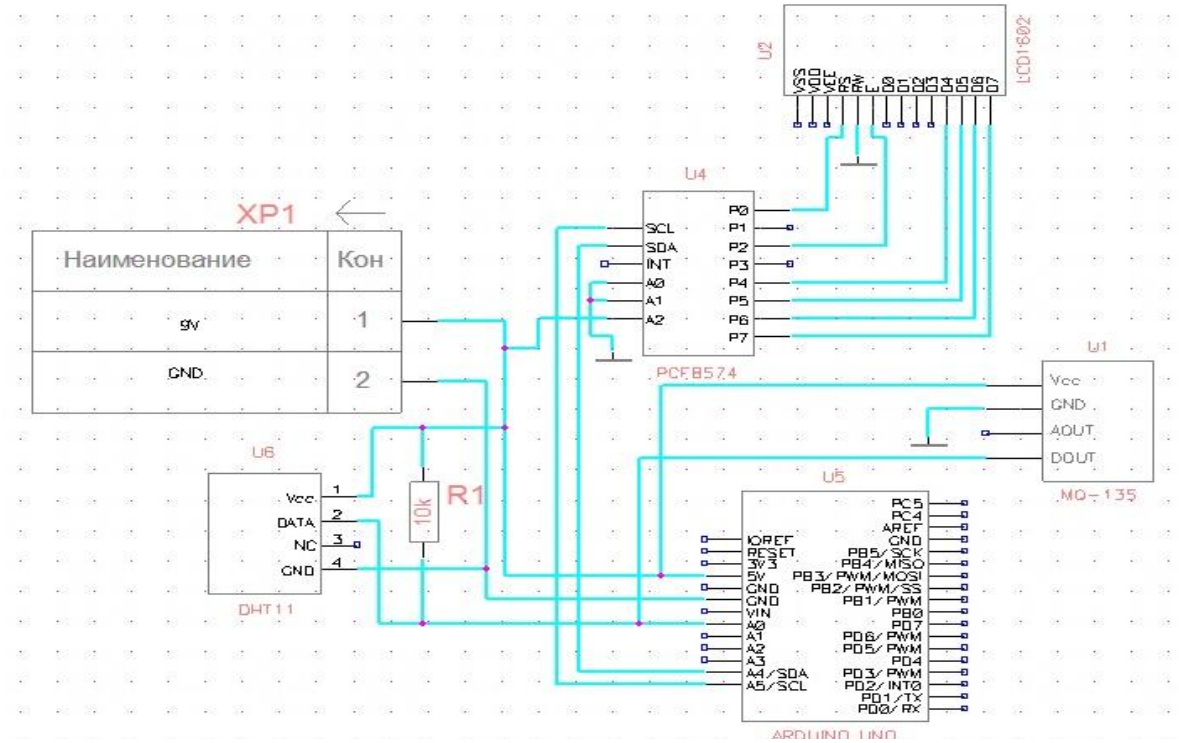


Рис. 1 - Принципиальная схема электронного устройства

Принцип работы устройства заключается в последовательном считывании информации с датчиков с частотой один раз в пять минут и вывода обновленных данных (уровень CO_2, температура и влажность в помещении) на жидкокристаллический экран. Внешний вид работающей установки представлен на рис. 2 [6].

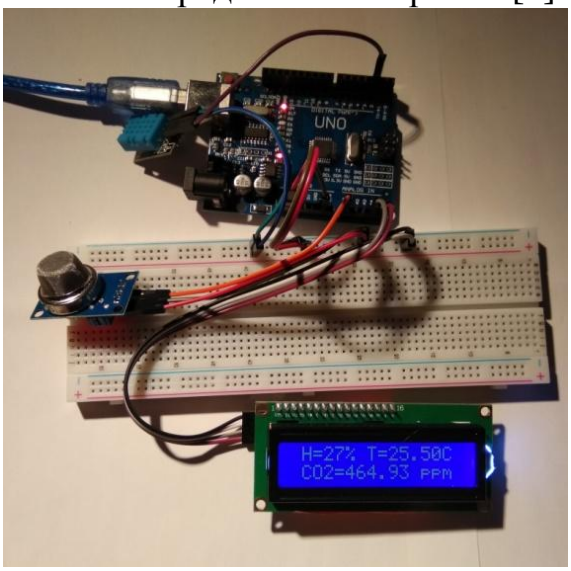


Рис. 2 - Внешний вид электронного устройства

Для достижения практических результатов был проведен эксперимент по измерению CO2 в учебной аудитории площадью 25 м^2 во время занятий.

Длительность эксперимента составила 2,5 часа. В начальный момент времени эксперимента – помещение было проветрено, и концентрация соответствовала уличной, т.е. примерно 400 ppm.

Последующие данные были сняты при закрытом окне и присутствии двенадцати человек в помещении.

Согласно показаниям устройства можно сделать вывод, что при отсутствии дополнительной внешней вентиляции концентрация углекислого газа поднялась до значения 1006 ppm.

Полученный уровень CO_2 считается опасным для здоровья. В момент времени 11:50 было открыто окно, вследствие чего было установлено, что при сквозном проветривании концентрация углекислого газа опускается до

нормального уровня (не опасного для организма человека) в течение 10 минут [7].

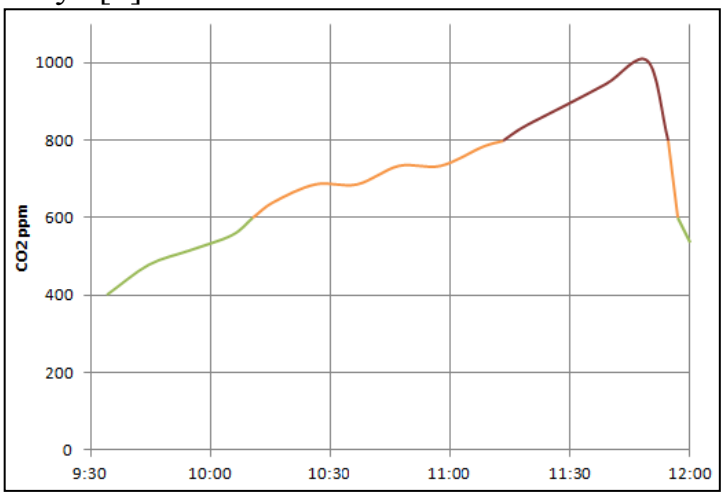


Рис. 3 - График зависимости концентрации CO_2 от времени

Предлагаемая в работе модель устройства может быть применена для периодического или постоянного контроля концентрации углекислого газа в воздухе в офисах, школах и детских садах, в жилых помещениях, теплицах, транспорте и т.д., для своевременного обнаружения повышения концентрации и принятия соответствующих мер для предотвращения негативных последствий в организме человека.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. - Москва: Стандартинформ, 2013. – 15 с.
2. Arduino.
https://www.arduino.cc/.
3. Technical Data. MQ-135 Gas Sensor.
https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/MQ135%20Datasheet.pdf.
4. Датчики температуры и влажности DHT11 и DHT22 и Arduino.
http://arduino-diy.com/arduino-datchiki-temperatury-i-vlazhnosti-DHT11-i-DHT22.
5. I2C interface for LCD. Mantech Electronics (Pty) Ltd., 2017.
http://www.mantech.co.za/datasheets/products/lcd2004-i2c.pdf. (07.04.2018).
6. *Лапшина П.Д.* Разработка устройства контроля уровня CO2 в помещении на основе микроконтроллера Arduino Uno / П.Д. Лапшина, А.А. Белицкий // Сборник материалов IV Всероссийской научно-практической конференции «Энергетика и энергосбережение: теория и практика», 2018, С. 418.1-418.5.
7. *Lapshina P.D.* Development of an Arduino-based CO2 Monitoring Device / P.D. Lapshina, S.P. Kurilova, A.A. Belitsky // Proceedings of the 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2019, С. 595-597.

УДК 339.545 (08)

КОНТРОЛЬ ПОДЛИННОСТИ НОВЫХ СТРАХОВЫХ ПОЛИСОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Лапынин Павел Сергеевич,
группа ПМК-16,
Санкт-Петербургский горный университет

Аннотация. Данная статья посвящена актуальной на сегодняшний день проблеме, в сфере автовладельцев, выявления поддельных образцов страхового полиса ОСАГО. В представленной работе проведен обзор основных защитных признаков, а также рассмотрены способы подделки полисов ОСАГО. Проведен анализ основных методов неразрушающего контроля, применяемых при исследованиях документов и денежных знаков на подлинность. Автором разработана методика контроля подлинности полиса обязательного страхования автогражданской ответственности ОСАГО. На основании проведенных исследований подобраны приборы, обеспечивающие надежный контроль.

Ключевые слова: полис ОСАГО; контроль; подлинность; защитные признаки

THE AUTHENTICITY OF THE NEW INSURANCE POLICIES OF VEHICLES

Lapynin Pavel Sergeevich,
group PMK-16,
Saint-Petersburg Mining University

Abstract. This article is devoted to the current problem in the field of car owners, identify fake samples of insurance policy CTP. In the present work, a review of the main protective features, as well as methods of forgery of insurance policies. The analysis of the main methods of non-destructive testing used in the study of documents and banknotes for authenticity. The author has developed a method of controlling the authenticity of the compulsory motor third party liability insurance policy. On the basis of the conducted researches the devices providing reliable control are picked up.

Keywords: insurance policy; control; authenticity; security features

Подделка документов транспортных средств в последнее время приобрела огромные масштабы. В последнее время приобрела огромные масштабы. В последнее время государство неоднократно меняло дизайн и

защиту от подделки паспортов транспортных средств, свидетельств о регистрации, водительских удостоверений, полисов ОСАГО. Однако огромное количество высококачественной полиграфической техники, находящихся в частных руках привело к тому, что резко увеличилось число угонов автомобилей и спецмашин, их продажи регистрации и эксплуатации по поддельным документам.

Рис. 1 - Подкладная сетка бланка ОСАГО в 4-х кратном увеличении

Ситуация значительно усложнилась с созданием таможенного союза, так как по территории трёх стран совершенно бесконтрольно и законно перемещается огромное количество транспортных средств с документами выполненными по разным стандартам, с разными защитными признаками и даже на разных языках. В этих условиях даже работники ГИБДД, Гостехнадзора, таможни не всегда могут отличить поддельные документы от подлинных. Знание основных методов защиты от подделки этих документов и методов контроля их подлинности полезно также и работникам транспортных предприятий и рядовым водителям, чтобы не купить автомашину по поддельным документам, не попасть в руки недобросовестным работникам ГИБДД или таможни, объявляющими ваши документы поддельными и на этом основании лишающими вас и документов и автомобиля.

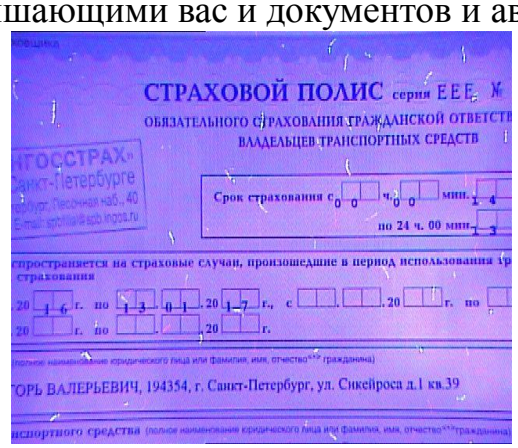


Рис. 2 - Идентификация защитных волокон при УФ-освещении (400 нм)

Угон автомобиля, самоходной машины или спецтехники - лишь начало преступной операции, продолжение которой включает в себя изменение идентификационных номеров и изготовление поддельных документов, необходимых для постановки на учет, продажи и ряда иных действий.

Поэтому исследование автомобилей и документов должно быть направлено на комплексное установление фактических данных, свидетельствующих о краже транспортного средства, на любом этапе преступной операции.

В настоящее время ситуация резко обострилась - огромное количество отечественной и зарубежной самоходной техники, стоимостью от сотен тысяч до сотен миллионов рублей находится в собственности физических и юридических лиц, становиться лакомым куском для хищений и разного рода злоупотреблений. С другой стороны – увеличиваются требования к техническому состоянию самоходных машин, их учёту и к документам на право управления этой техникой. И если с автомобильным транспортом,

передвигающимся по дорогам ГАИ (ГИБДД) за долгие годы своего существования навела относительный порядок, то в вопросе эксплуатации самоходных машин он только наводится специально созданной организацией «Гостехнадзор, (Государственная инспекция по надзору за техническим состоянием самоходных машин и других видов техники).

Рис. 3 - Видеоспектральный компаратор «Регула 4305»

Многие находятся в неведении о том, что купив квадроцикл или снегоход необходимо поставить его на учет, как и автомашину, получить удостоверение на право управления им, пройти технический осмотр.

Аналогичная ситуация и с юридическими лицами, владеющими тракторами, карьерной техникой и т.д., которые допускают к её эксплуатации случайных людей, с поддельными документами. Всё это часто приводит к авариям с человеческими жертвами.

В докладе рассматриваются методика контроля подлинности полисов ОСАГО, оборудование для проведения этого контроля, приводятся конкретные примеры.

Методика контроля подлинности полиса ОСАГО подразумевает сравнение бланка с листом формата А4, исследование подкладной сетки (рис. 1), наличие защитных волокон (рис. 2), водяных знаков и многих других защитных признаков.

Контроль подлинности проводился с помощью видеоспектрального компаратора «Регула 4305» (рис. 3).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Павлов И.В.* Контроль подлинности документов, ценных бумаг и денежных знаков / И.В. Павлов, А.И. Потапов. - М.: Техносфера, 2006.
2. *Агарков М.М.* Учение о ценных бумагах. – М.: Финстатинформ, 1993.
3. Комплексное криминалистическое исследование средств защиты ценных бумаг и денежных билетов / А.Г. Белоусов, Г.Г. Белоусов, В.В. Кузнецов, Е.В. Стариков. – М.: ГУ ЭКЦ МВД России, 2001.
4. «Судебно-техническая экспертиза документов» Особенная часть, Вып. 2, ч. 1. - М.: ВНИИСЭ МЮ РФ, 1992.
5. Федеральный закон от 25 апреля 2002 года № 40-ФЗ «Об обязательном страховании гражданской ответственности владельцев транспортных средств».
6. Федеральный закон Российской Федерации от 1 декабря 2007 г. N 306-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об обязательном страховании

гражданской ответственности владельцев транспортных средств» и статью 2 Федерального закона «О внесении изменений и дополнений в Закон Российской Федерации «Об организации страхового дела в Российской Федерации» и признании утратившими силу некоторых законодательных актов Российской Федерации».
7. http://www.interfax.ru/.

УДК 67.15.63

АРХИМАТЫ В БЛАГОУСТРОЙСТВЕ КУСТОВЫХ ПЛОЩАДОК

Лугвищик Арина Сергеевна,
группа МНММ-17,
Санкт-Петербургский горный
университет

Аннотация. В данной работе рассмотрена новая концепция строительства на заболоченных территориях российского Севера и Западной Сибири с использованием архиматериалов. Осознанная необходимость повышения комфорта среды временного пребывания нефтяников, работающих вахтенным методом на кустовых площадках по добычи нефти и газа, с целью улучшения условий их отдыха и повышения эффективности труда, обуславливает актуальность представляемой темы.

Ключевые слова: кустовая площадка; архиматы; благоустройство

ARCHIMATS IN THE IMPROVEMENT OF ACCESS PLACES

Lugvishchik Arina Sergeevna,
group MNMM-17,
Saint-Petersburg Mining University

Abstract. In this paper, a new concept of construction in the marshy areas of the Russian North and Western Siberia using archimaterials is considered. The perceived need to increase the comfort of the temporary stay environment of oil workers, who work on a rotational basis at cluster sites for oil and gas production, in order to improve the conditions for their rest and increase labor efficiency, makes the topic of relevance relevant.

Keywords: shrub area; archimats; landscaping

Строительство и обустройство кустовых площадок на нефтедобывающих предприятиях представляет собой работы, связанные с подготовкой территории для размещения технологического оборудования, шламовых амбаров, групп скважин, производственных и бытовых построек. Начальным и основным этапом в строительстве кустовых площадок является создание качественного основания. Так как нефтедобыча происходит в основном на нестабильных, часто болотистых, почвах Севера, то необходима отсыпка и уплотнение технологических площадок и дорог, ведущих к ним. Отсыпка обычно производится с применением грунтов, песка и гравия. Дорожное строительство на заболоченных территориях российского Севера и

Западной Сибири сегодня почти десятикратно дороже, чем в центральной России.

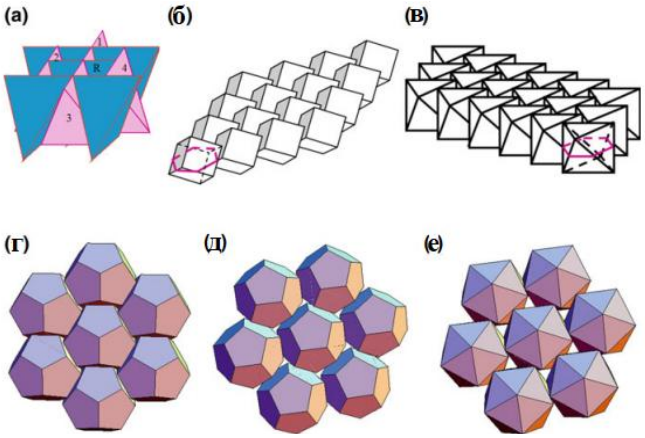


Рис. 1 - Самозаклиненный слой:
а - тетраэдров; б - кубов; в - октаэдров;
г - додекаэдров с плоскостью блокировки, перпендикулярной оси симметрии 3-го порядка; д - додекаэдры с плоскостью блокировки, перпендикулярной оси симметрии 5-го порядка; е - икосаэдров

Снижение себестоимости в этой области открывает колоссальные перспективы роста транспортной освоенности территорий. Одним из лучших решений может стать сооружение так называемых плавающих дорог без традиционного грунтового основания из легких бетонных сегментированных конструкций с использованием технологии пошаговой сборки.

Проанализировав материалы, использованные в модульных покрытиях, можно прийти к выводу, что наиболее перспективными из них для данного покрытия, являются архиматериалы. «Архиматы» – материалы с заданной внутренней архитектурой, дающий также определение самозацепленным блокам малого размера, из которых формируется и формообразуется материал макроразмерных конструкций [2].

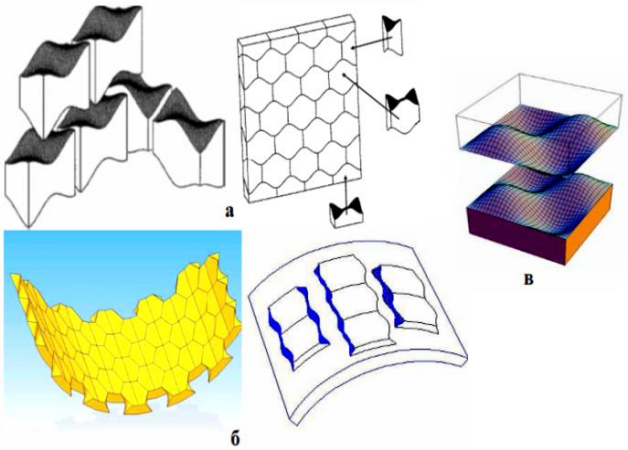


Рис. 2 - Остеоморфные блоки:
а - сборка плоских и угловых конструкций из остеоморфных блоков; б - изогнутые остеоморфные плитки; в - вогнуто-выпуклая поверхность остеоморфных блоков

Их отличие от «классических» композитов состоит не только в заранее заданной структуре материала, но и во внутренней архитектуре, что кардинально изменяет его свойства: материал может быть одновременно прочным, пластичным, коррозионностойким и т.д. Таким образом, важное свойство архимата — его немонолитность. Материал представляет собой не единый массив, а конгломерат из отдельных сегментов — самозацепленных блоков, которые могут быть самой разной геометрической формы (рис. 1) [5].

Возможны и другие формы блоков (рис. 2), самозацепление которых происходит за счёт выпукловогнутых контактных поверхностей (остеоморфные кирпичи) [3].

В остеоморфном блоке поверхности спроектированы таким образом, что возможны как плоские, так и угловые конструкции, что делает этот блок удобным конструктивным элементом. Форма блокирующих поверхностей

делает блоки самонастраивающимися, так что любое, даже очень неточное первоначальное размещение блока смягчается путем самопозиционирования блоков в правильное место. Это самонастраивающееся свойство может быть важным для автоматизированных строительных технологий [4].

Основываясь на этом принципе, могут быть изготовлены базовые пластинчатые сборки, которые образуют гибкие структуры, свободные от концентраторов напряжений. Более того, некоторые топологически блокирующие блоки обеспечивают значительную устойчивость к отсутствующим блокам. Пластинчатые блокирующие структуры, как тетраэдры, так и остеоморфные, могут быть использованы для создания гибких фундаментов, которые нечувствительны к локальным сокращениям несущей способности грунта и, следовательно, эффективно распределяют нагрузку со стороны структуры. Кроме того, такие основы устойчивы к разрушению, что обеспечивает долговечность конструкции [1].

В работе [6] представлена концепция, основанная на применении лёгких строительных материалов и технологии пошаговой сборки дорожного полотна из топологически самозаклиненных остеоморфных блоков, в которой предлагается использовать газобетон, из которого прямо в районе строительства, изготавливаются модульные блоки с выпукло-вогнутыми поверхностями. Сборка блоков в единую конструкцию дорожного полотна осуществляется по принципу топологического самозацепления на рулонной водонепроницаемой геотекстильной подложке, после чего формируется водонепроницаемое дорожное покрытие путём пропитки собранных в конструкцию блоков органическим материалом, например, битумом (рис. 3).

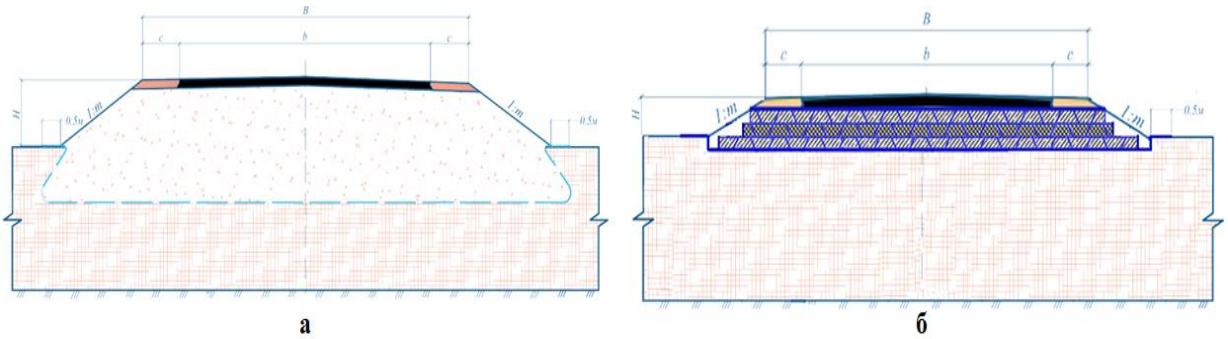


Рис. 3 - Насыпь на болотах II типа:
а - дорожное покрытие, грунт тела насыпи, геополотно тканное, слабые грунты (болото II типа); б - дорожное покрытие, геоткань, газобетон, пенополистерол, газобетон, геоткань, слабые грунты (болото II типа)

Одной из задач для достижения поставленной цели является расширение жизненного пространства трудового коллектива во время отдыха и досуга между сменами. Для чего кустовые площадки было бы крайне полезно обустраивать дополнительными объектами социального назначения, такими как дорожки для пеших и велопрогулок, а также рекреационными зонами, включая спортивные игровые площадки.

Ещё вчера, такая идея воспринималась как фантастическая, однако сегодня, благодаря новому подходу формирования материальной среды посредством архиматов, она обретает реальные черты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Dyskin A.V.* A new concept in design of materials and structures: Assemblies of interlocked tetrahedron-shaped elements / A.V. Dyskin, Y. Estrin, A.J. Kanel-Belov, E. Pasternak // Scripta Materialia, 2015, Vol. 44, C. 2689-2694.
2. *Dyskin A.V.* Topological interlocking of platonic solids: A way to new materials and structures/ A.V. Dyskin, Y. Estrin, A.J. Kanel-Belov, E. Pasternak // Phil. Mag. Letters, 2017, Vol. 83(3), C. 197-203.
3. *Dyskin A.V.* Fracture resistant structures based on topological interlocking with non-planar contacts / A.V. Dyskin, Y. Estrin, E. Pasternak, A.J. Kanel-Belov // Advanced Engineering Materials, 2015, Vol. 5(3), C. 116-119.
4. *Dyskin A.V.* Toughening by fragmentation - How topology helps / A.V. Dyskin, Y. Estrin, E. Pasternak, A.J. Kanel-Belov // Advanced Engineering Materials, 2015, Vol. 3(11), C. 885-888.
5. *Djumas L.* Deformation mechanics of non-planar topologically interlocked assemblies with structural hierarchy and varying geometry / L. Djumas, G.P. Simon, Y. Estrin, A. Molotnikov // Advanced Engineering Materials, 2017, Vol. 7(3), C. 100-113.
6. *Пиирайнен В.Ю.* Топологическое самозаклинивание как принцип инженерного дизайна при строительстве морских и прибрежных сооружений / В.Ю. Пиирайнен, Ю.З. Эстрин // Записки Горного института, 2017, Т. 226, С. 386.

УДК 622.85; 622.271; 629.113

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ КАРЬЕРНОГО САМОЗАГРУЖАЮЩЕГОСЯ АВТОСАМОСВАЛА НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ

Коптев Владимир Юрьевич,
канд. Техн.наук, доцент,
Лукашин Илья Андреевич,
группа ГТС-16,
Санкт-Петербургский горный
университет

Аннотация. В данной статье была исследована возможность передачи функции загрузки кузова автосамосвалу, что позволит исключить из погрузочных работ экскаватор, тем самым уменьшить размеры рабочей площадки, время на погрузку и расход энергии, повысить безопасность погрузочных работ и производительность. Были произведены расчеты необходимых усилий для внедрения кузова объемом 67 м^3 в песчаный массив, не учитывая сил инерции.

Ключевые слова: самозагружающийся автосамосвал; высота стружки; сопротивление внедрению

JUSTIFICATION OF USING SELF-LOADING DUMP TRUCK AT OPEN CAST MINING

Koptev Vladimir Yurievich,
PhD, associate Professor,
Lukashin Ilya,
group GTS-16,
Saint-Petersburg Mining University

Abstract. In this article, the possibility of transferring the body loading function to a dump truck was investigated, which would exclude the excavator from loading operations, thereby reducing the size of the working platform, loading time and energy consumption, increasing loading safety and productivity. Calculations were made of the necessary effort for the introduction of the body volume of 67 m^3 in the sand massif, not taking into account the forces of inertia.

Keywords: self-loading dump truck; chip height; resistance to penetration

Сегодня карьерные автосамосвалы в карьерах загружают горной массой карьерными экскаваторами. Такая технология применяется на всех горных предприятиях с открытым способом разработки месторождений.

Экскаваторы и автосамосвалы и в общей системе добычных работ составляют экскаваторно-автомобильные комплексы, и в общей структуре затрат на добычу полезного ископаемого на них приходится 60-90% от всех затрат и до 70% от общих расходов энергии. Из-за больших габаритов экскаватора площадь, отводимая под рабочую площадку в забое, достигает сотни квадратных метров.

Идея работы заключается в том, чтобы функцию загрузки кузова передать автосамосвалу, что позволит из погрузочных работ исключить экскаватор и уменьшить стоимость добычных работ. Также уменьшаются размеры рабочей площадки, время на погрузку и расход энергии, повышается безопасность погрузочных работ и производительность.

Конечно, обычный автосамосвал не способен выполнить эту работу. Однако если применить гидроцилиндры двойного действия в механизме подъёма кузова, изменить заднюю кромку платформы для лучшего внедрения в штабель горной массы, то появляется возможность при движении автосамосвала задним ходом при подъёме ковша загружать его горной массой (рис. 1, 2).

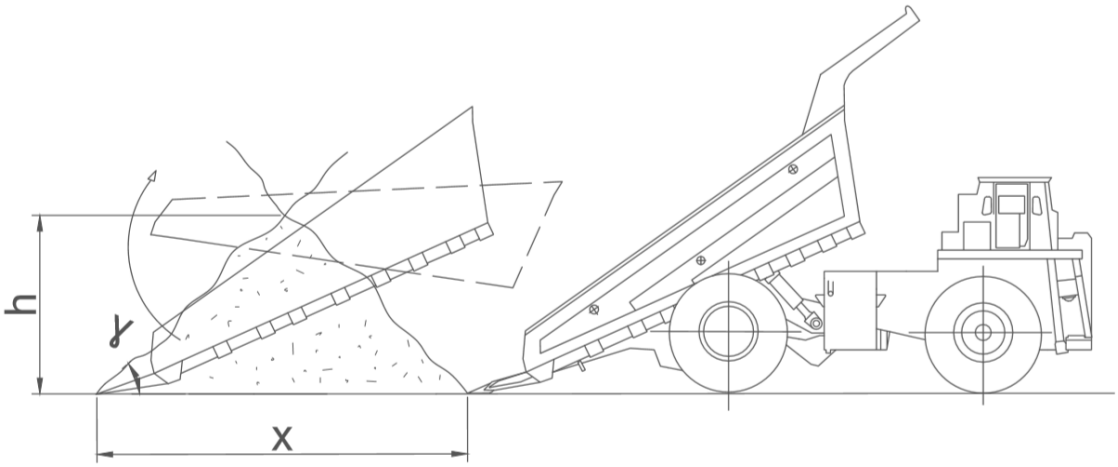


Рис. 1 - Схема загрузи кузова автосамосвала горной массой в забое при движении назад

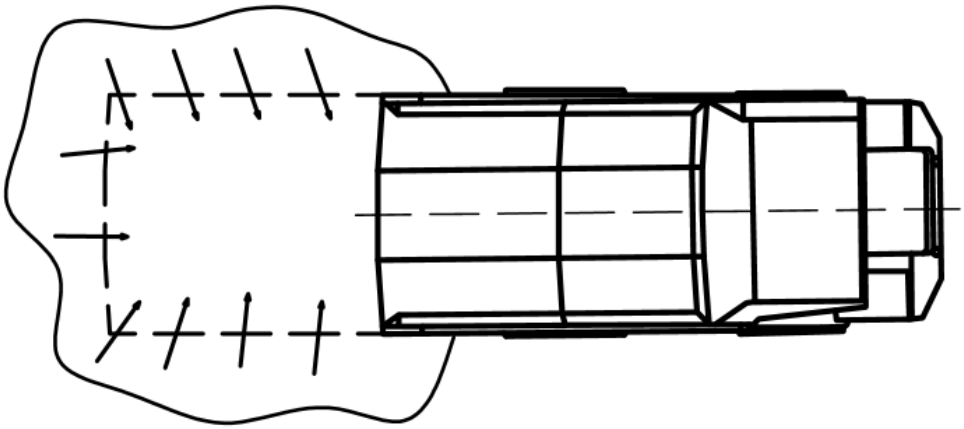


Рис. 2 - Схема засыпки кузова автосамосвала горной массой при внедрении в массив

Для обоснования возможности использования самозагружающегося автосамосвала выполнены расчеты по определению усилия внедрению кузова в развал горной массы.

В работе принят автосамосвал БелАЗ 7513 грузоподъемностью 130 т, поскольку машины этой грузоподъемности на данный момент оцениваются экспертами, как наиболее перспективные для применения на многих карьерах.

Начнем с расчета геометрии загружаемой горной массы для определения высоты стружки, а так же необходимой глубины внедрения кузова в массив.

Вместимость кузова автосамосвала БелАЗ 7513 вместе с шапкой составляет 67 м^3, на это значение мы и будет опираться при расчете необходимого объема загрузки. Для расчетов примем угол естественного откоса хорошо сыпучих пород, например песка. Объем горной массы, которую мы загрузим представим в виде треугольной призмы, ширина которой будет равна ширине кузова, т.е. 6,4 м. Тогда объем загрузки будет равным:

$$V_з = \frac{1}{2} \cdot x \cdot t \cdot b,$$

где x - глубина внедрения, t - толщина стружки, b - ширина кузова.

$$tg\alpha = \frac{2h}{x} => h = tg\alpha \cdot \frac{x}{2},$$

где α - угол естественного откоса.

Подставив геометрические значения автосамосвала БелАЗ 7513, получаем, что для загрузки полного кузова необходимо углубиться в породу на 9,5 м, при этом высота стружки будет составлять 2,2 м.

Усилие, необходимое для внедрения кузова в массив:

$$F \geq \sum W = W_c + W_в,$$

$$W_в = P_{01},$$

где P_{01} - касательная сила, $W_в$ - сопротивление внедрению.

$$P_{01} = K_F tb,$$

где K_F – коэффициент сопротивления горной породы копанию (для песка 0,12 МПа) [1].

$$P_{01} = 0{,}12 \cdot 6{,}4 \cdot 2{,}2 = 1{,}69 \cdot 10^6 \text{ Н}.$$

$$W_c = \omega \cdot P = \omega \cdot (m_a + m_г)g,$$

где ω - коэффициент сопротивления движению (примем равным 50 Н/кН),
W_c - сопротивление движению,
m_a- масса автосамосвала,
$m_г$- масса груза [2].

$$W_c = 50 \cdot (110 + 130) \cdot 9{,}8 = 117600\ H.$$

Определим касательную силу тяги по мощности двигателя при скорости движения автосамосвала 2 км/ч.

$$F = \frac{3600 \cdot N}{V} \cdot \eta, \text{ (КПД примем равным 0,8).}$$

$$F = \frac{3600 \cdot 1193 \cdot \cancel{10^3}}{2 \cdot \cancel{10^3}} \cdot 0{,}8 = 1718 \cdot 10^3\ H.$$

$$F \geq \sum W = W_c + W_в.$$

$$1718 \cdot 10^3 \leq 1807 \cdot 10^3.$$

Далее определим необходимую мощность для внедрения:

$$\frac{3600 \cdot N}{V} \cdot \eta \geq 1807 \cdot 10^3.$$

$$N = \frac{1807 \cdot 10^3 \cdot V}{\eta \cdot 3600}.$$

$$N = \frac{1807 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^3}{0{,}8 \cdot 3600} = 1255 \cdot 10^3 \text{ Вт.}$$

Вывод.

В ходе расчетов было выявлено, что мощности существующего двигателя в карьерном автосамосвале Белаз 7513 не достаточно для внедрения в песок, но не существенно, и при увеличении мощности двигателя до $1255 \cdot 10^3$ Вт возможно преодолеть сопротивление внедрению кузова в песчаный массив. Так же установка зубьев снижает необходимое усилие внедрения и увеличивает ударную нагрузку на породу в 2-2,5 раза. Кроме того, в расчёте не учитывалась сила инерции, что способствует загрузке кузова.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Подэрни Р.Ю.* Горные машины и комплексы для открытых горных работ. – М.: 1985. - 38 стр.
2. *Тарасов Ю.Д.* Транспортные машины периодического действия / Ю.Д. Тарасов, В.Ю. Коптев. – СПб.: РИЦ СПГГИ (ТУ), 2012. - 24 с.

УДК 621.879.0.32.004.69(035)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ЭКСКАВАТОРОВ ПО ИСТЕЧЕНИИ НОРМАТИВНОГО СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ

Лыков Юрий Васильевич,
канд. техн. наук, доцент,
Насонов Михаил Юрьевич,
д-р техн. наук, доцент,
До Дык Чонг,
аспирант,
Санкт-петербургский горный
университет

Аннотация. Установлена зависимость между накоплением повреждений в металлоконструкциях экскаваторов, а также снижением трещиностойкости сталей при работе экскаваторов и уменьшением ресурса.

Ключевые слова: экскаваторы; металлоконструкции; трещины; напряжения; трещиностойкость; усталость металла

DETERMINATION OF RESIDUAL LIFE OF STEEL STRUCTURES OF EXCAVATORS AT THE EXPIRATION OF THE STATUTORY PERIOD OF OPERATION

Lykov Yuriy Vasilievich,
PhD, associate Professor,
Nasonov Mikhail Yurievich,
Doctor of tech. sc., associate Professor,
Do Duc Chong,
postgraduate student,
Saint-Petersburg Mining University

Накопление повреждений и дефектов в металлоконструкциях исследовалось на различных машиностроительных и строительных объектах [1-3]. Особенно широко проводились исследования на строительных и производственных кранах, резервуарах и газгольдерах [4]. Изучались вопросы накопления дефектов при различных температурах и режимах нагружения [5, 6]. Широкие работы проводятся по оценке живучести, малоцикловой и многоцикловой усталости и долговечности машин различного назначения [7-11]. Большое внимание уделяется оценке надежности машин и механизмов [12-14]. Для этого используют различные методы неразрушающего контроля, включая акустическую эмиссию [15, 16].

Все эти работы позволяют создавать различные методики прогнозирования поведения объектов и оценки остаточного ресурса.

Однако в плане постановки объектов на ремонт в плане их списания работ значительно меньше. Для этого используются другие подходы.

В настоящее время для постановки вопроса о необходимости списания экскаватора используется два подхода. За основу принимается:

1) календарное время работы экскаватора с момента ввода в эксплуатацию;

2) объем переработанной горной массы, при этом не учитываются реальные условия работы экскаватора.

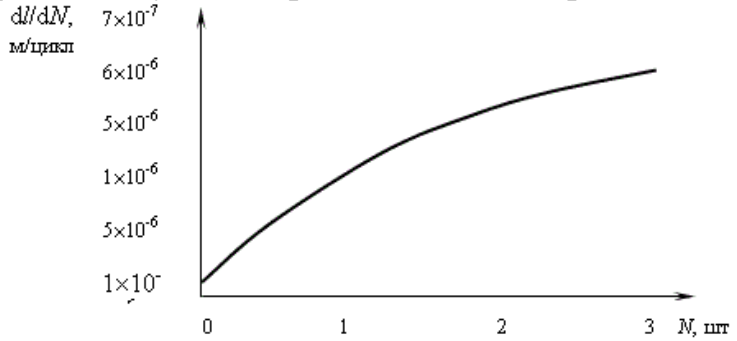


Рис. 1 - Зависимость скорости роста трещины размером 0,002 м в зоне фланцевого соединения экскаватора ЭШ 13/50 от числа сварочных дефектов

При разработке методики по оценке остаточного ресурса определялось число дефектов на единицу длины шва, их размеры и расстояние между ними, а также характеристики металла охрупченной зоны и их увеличение в результате эксплуатации.

В результате проведенных исследований получены зависимости изменения скорости роста трещин от накопления количества дефектов в сварных швах в результате эксплуатации экскаватора (рис. 1). При циклическом нагружении происходит накопление повреждений в металле и снижение предела выносливости (рис. 2).

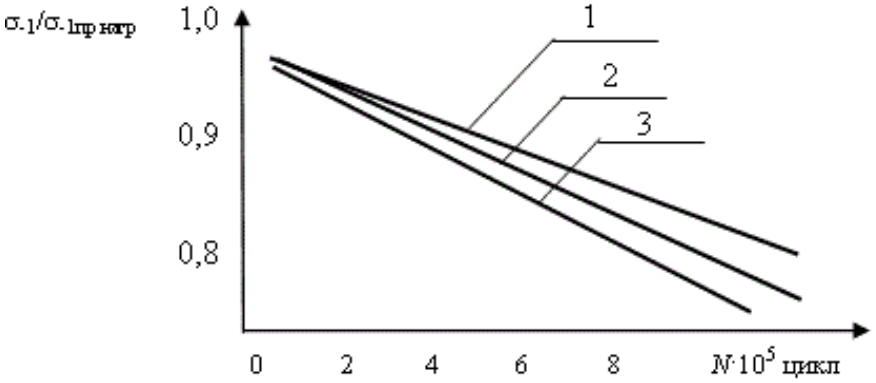


Рис. 2 - Изменения относительного предела выносливости стали ВСт3 в зависимости от числа и амплитуды циклов предварительного нагружения: 1 – $\sigma_{-1\ пр\ нагр}/\sigma_{-1}$ = 1,2; 2 – $\sigma_{-1\ пр\ нагр}/\sigma_{-1}$ = 1,4; 3 – $\sigma_{-1\ пр\ нагр}/\sigma_{-1}$ = 1,6

В результате проведенных исследований на 8 экскаваторах имевших различную наработку, было произведено соотнесение между числом растущих при аварийном нагружении дефектов и снижением предела выносливости (рис. 3).

Практика показала, в основном, все разрушения металлоконструкций экскаваторов связаны с развитием трещин, образовавшихся из трещиноподобных дефектов сварных швов: непроваров корня шва, газовых пузырей, неметаллических включений и так далее.

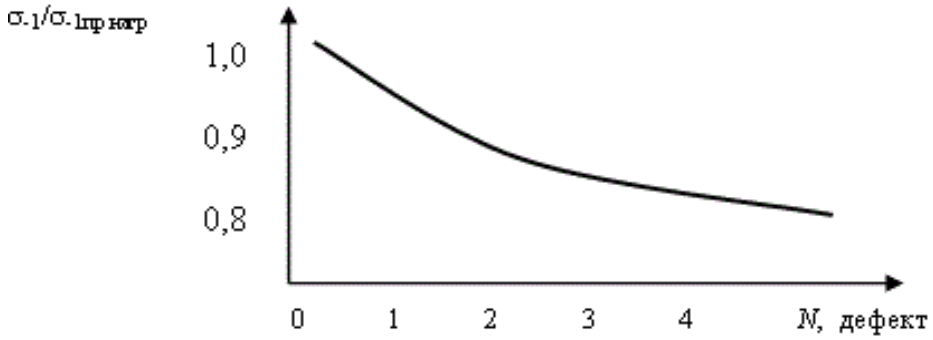


Рис. 3 - Зависимость предела выносливости ($\sigma_{-1пр\ нагр}$) стали из нижнего пояса стрелы ЭШ 10/70 от числа дефектов обнаруженных акустической эмиссией

Такого рода дефекты могут быть легко найдены, средствами диагностического контроля, а трещины весьма часто могут быть обнаружены даже визуально. В связи с этим, разрушения ввиду катастрофического развития трещины могут произойти только при пренебрежении профилактическими ремонтами, периодическими осмотрами и оценкой остаточного ресурса.

Полученные зависимости позволяют определять остаточный ресурс металлоконструкций экскаваторов по истечении нормативного срока эксплуатации и продлевать срок их безопасной работы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Хлыбов А.А.* Оценка накопления повреждений в конструкционных металлических материалах акустическими методами для обеспечения безопасной эксплуатации технических объектов: Автореф. дис. докт. техн. наук. - Нижний Новгород, 2011. - 33 с.
2. *Смирнов В.В.* Анализ дефектов и повреждений металлических конструкций зданий металлургических производств / В.В. Смирнов, М.А. Свитцов, А.Ю. Шевелева и др. // European science, 2015, С. 1-3.
3. *Богданов А.П.* Дефекты металлоконструкции карьерных экскаваторов / А.П. Богданов, А.А. Гайнуллин, А.А. Ефимов и др. // Universum: технические науки, 2015, Т. 11, С. 1-25.
4. *Сероштан В.И.* Процесс образования трещин в металлоконструкциях грузоподъемных кранов / В.И. Сероштан, Т.В. Гаах // Известия ТулГУ, 2016, Т. 5, С. 213-220.
5. *Пелипенко М.П.* Влияние перегрузок на срок службы элементов металлических конструкций: дис. канд. техн. наук. – М., 2017. - 205 с.

6. Evaluation of Low-Temperature Impact Tension Properties in Structural Materials for Energy Applications Kyung Oh Bae, Hyung-Seop Shin, Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers, 2017, Vol. 41(12), С. 1153-1161.
7. *Семенов В.В.* Работа стальных элементов и конструкций с трещинами, живучесть инженерных конструкций, имеющих трещины / Молодежный вестник ИрГТУ, 2014, С. 3-4.
9. *Макаров А.П.* Определение критической длины трещины в металлоконструкциях карьерных экскаваторов / А.П. Макаров, А.Н Шевченко, А.М Павлов / Вестник ИрГТУ, 2015, Т. 12, С. 57-63.
10. *Никитин И.С.* Определение критической плоскости и оценка усталостной долговечности при различных режимах циклического нагружения / И.С. Никитин, Н.Г. Бураго, А.Д. Никитин, В.Л. Якушев / Вестник механика, 2017, Т. 4, С. 238-252.
11. *Сосновцев А.П.* Малоцикловая усталость сварных швов РВС / А.П. Сосновцев, М.В. Петровская / КиберЛенинка, 2019, С. 9-11.
12. *Горбовец М.А.* Оборудование для проведения испытаний на малоцикловую усталость при «жестком» цикле нагружения / М.А. Горбовец, И.А. Ходинев, П.В. Рыжков / Труды ВИАМ, 2018, Т. 9, С. 51-60.
13. Шутова М.Н. Определение надежности и категории технического состояния поврежденных металлических конструкций на основе численного эксперимента / М.Н. Шутова, С.И. Евтушенко, И. В. Гонтаренко / Известие Вузов: Северокавказский регион, 2018, С. 98-104.
14. *Сараев Ю.Н.* О повышении надежности металлических конструкций при эксплуатации в условиях низких климатических температур посредством комплексного применения современных методов модифицирования зоны сварного соединения / Ю.Н. Сараев, В.П. Безбородов, С.В. Гладковский, Н.И. Голиков.
15. *Skibin G.M.* Reliability increase of running gears elements of mining traction locomotives using finite-element analysis package / G.M. Skibin, M.N. Shutova, S.I. Evtushenko, I.A. Chutchenko // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 87(2), 022021.
16. *Агафонов К.В.* Способы снижения рисков при эксплуатации подъемно-транспортного оборудования ракетных и ракетно-космических комплексов в послегарантийный период с применением неразрушающего контроля методом акустической эмиссии / Современная техника и технология, 2016, Т. 4, С. 5-9.
17. *Войченко К.Ю.* Исследование возможностей оценки качества нагруженных металлических конструкций акустическими методами неразрушающего контроля / К.Ю. Войниченко, Е.Ю. Ремшев, М.Ю. Силаев, А.Н. Глушко // Металлообработка, 2014, Т. 3, С. 10-15.

УДК 389.14

ПРОБЛЕМЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ В ОБЛАСТИ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА НЕФТЕПРОДУКТОВ

Макашова Софья Алексеевна,
группа МО-16,
Санкт-Петербургский горный университет, Электромеханический факультет

Аннотация. В работе отражены особенности процедуры отбора проб; обозначены проблемы, связанные с пробоотбором и влияющие на достоверность измерений.

Ключевые слова: нефть; нефтепродукты; контроль качества; испытательная лаборатория; испытания; отбор проб; неопределенность

PROBLEMS IN THE FIELD OF QUALITY CONTROL OF PETROLEUM PRODUCTS

Makashova Sofya Alekseevna
group MO-16,
Saint-Petersburg Mining University,
Electromechanical faculty

Abstract. The article reflects the features of the sampling procedure; identified problems associated with sampling and affecting the reliability of measurements.

Keywords: petroleum; petroleum products; quality control; testing laboratory; testing; sampling; uncertainty

В соответствии с энергетической стратегией России на период до 2030 года политика нацелена на максимально эффективное использование энергетических ресурсов. В связи с этим особое значение приобретает совершенствование средств и методов измерений количества и качества углеводородного сырья, особенно нефти, как наиболее востребованного энергоресурса мирового значения [1].

В бюджет неопределенности параметров нефти, полученных в результате лабораторного анализа образцов продукции, вносит вклад не только и не столько ошибки измерения определяемых показателей, сколько ошибки при отборе пробы. Если проба оказалась случайной и не характеризует средний состав прошедшей нефти, то и её анализ не может отразить действительного физико-химического состава, что, в конечном счете, окажет влияние на точность измерений. Поэтому в некоторых случаях

имеет смысл не увеличение точности метода испытаний, а поиск более точного метода отбора проб [2].

Представительность пробы и погрешности отбора проб сырой нефти зависят от следующих условий:

1. Пробы, взятые из трубопровода, должны иметь такой же состав, как усредненный состав сырой нефти по всему поперечному сечению трубопровода в месте и в момент отбора этих проб. Это трудновыполнимое условие, так как режим течения потока сырой нефти изменяется в широких пределах (см. рисунок).

2. Представительность пробы должна сохраняться в течение всего установленного периода перекачки сырой нефти.

3. Необходимо обеспечить изокинетический отбора проб, т.е. отбор, осуществляемый таким образом, что средняя линейная скорость потока сырой нефти через отверстие пробозаборного устройства равна средней линейной скорости потока сырой нефти в трубопроводе.

4. Следует обеспечить сохранение состава отобранной объединенной пробы при доставке ее в испытательную лабораторию и разделении на отдельные пробы для анализа лабораторными методами [3].

Для отбора проб ГОСТ 8.615 устанавливает, что «отбор проб сырой нефти выполняют по ГОСТ 2517 и аттестованной методике пробоотбора» [4].

Однако ГОСТ 2517-2012 «Нефть и нефтепродукты. Методы отбора проб» [5] не в полной мере учитывает описанные выше особенности, в особенности 1-ое условие, и не позволяет отбирать представительные пробы и определять погрешности отбора проб, поэтому необходимо пользоваться аттестованными методиками.

Кроме того, в последние годы испытательные лаборатории РФ переходят на использование зарубежных стандартов, соответственно и на зарубежные методы отбора проб, существенно отличающиеся от ранее использовавшихся, а именно к ГОСТ 31873-2012 «Нефть и нефтепродукты. Методы ручного отбора проб» [6], разработанном на основе аутентичного перевода стандарта ASTM D 4057 [7], существенно отличающегося от ранее использованного.

В этих стандартах имеются существенные отличия в процедурах ручного отбора проб, главным образом связанных с формированием объединенной пробы из точечных проб и процедурами подготовительных операций перед непосредственным забором пробы.

Некоторые отличия приведены в табл. 1.

Как видно из таблицы, различаются даже такие понятия как проба с верхнего/нижнего уровня. При всем этом встречаются стандарты без прямого указания ГОСТа, который необходимо применять. Так, например, в ГОСТ 8226-2015 «Топливо для двигателей. Исследовательский метод определения октанового числа» указано: «Отбор проб топлив для испытаний проводят по ГОСТ 2517, ГОСТ 31873 или соответствующим национальным стандартам на методы отбора проб» [8].

Таблица 1

Сравнение ГОСТ 2517 и ГОСТ 31873

ГОСТ 2517-2012	ГОСТ 31873-2012
Формирование объединенной пробы из вертикального резервуара	
Объединенную пробу составляют смешением точечных проб верхнего, среднего и нижнего уровней в соотношении 1:3:1.	Для резервуаров с одинаковым поперечным сечением, таких как вертикальный цилиндрический резервуар, смесь содержит равные части отобранных трех проб.
Перед отбором пробы из резервуара нефть и нефтепродукты отстаивают не менее 2 ч и удаляют отстой воды и загрязнений.	Во многих случаях применение метода ручного отбора проб для жидкостей приводит к тому, что отобранный продукт содержит тяжелый компонент (например, свободную воду), имеющий тенденцию отделяться от основного компонента. В этих случаях ручной отбор проб должен проводиться следующим образом: а) для отделения и отстоя тяжелого компонента должно пройти достаточно времени
Расположение уровней отбора проб	
верхний уровень - на 250 мм ниже поверхности нефти или нефтепродукта; средний уровень - с середины высоты столба нефти или нефтепродукта; нижний уровень: для нефти - нижний срез приемо-раздаточного патрубка (хлопушки) по внутреннему диаметру, для нефтепродукта - на 250 мм выше днища резервуара.	проба из верхнего слоя: Точечная проба, отобранная из середины верхней трети содержимого резервуара. проба со среднего слоя (middle sample): Точечная проба, взятая из середины содержимого резервуара. проба с нижнего слоя (lower sample): Точечная проба жидкости из середины нижней трети содержимого.

Такое отсутствие четкого указания на необходимый стандарт может привести к тому, что различия в процедурах отбора скажутся на составе пробы для испытаний, т.е. вызовет несопоставимость результатов измерений.

Таким образом, для повышения качества результатов измерений необходимо уточнить стандарты в соответствии с необходимыми условиями отбора проб из трубопровода, а также согласовать их между собой.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Нурмухаметов Р.Р.* Методики дискретного отбора проб сырой нефти и контроля распределения влагосодержания нефти в промысловом трубопроводе: дис. на соискание уч. степени канд. тех. наук: 05.11.13. – Казань, 2015. – 127 с.

2. *Нехамкина Н.Г.* Метрологическое обеспечение качества нефтепродуктов / Н.Г. Нехамкина, И.В. Терешина, В.И. Борисова, О.И. Фальковская // Методы оценки соответствия, 2011, Т. 6, С. 5-8.

3. *Немиров М.С.* Анализ факторов, влияющих на погрешность отбора проб сырой нефти из трубопровода / М.С. Немиров, Т.Г. Силкина, Р.Р. Нурмухаметов // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности, 2012, Т. 4, С. 69-71.
4. ГОСТ Р 8.615-2005 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Измерения количества извлекаемых из недр нефти и нефтяного газа. Общие метрологические и технические требования.
5. ГОСТ 2517-2012. Нефть и нефтепродукты. Методы отбора проб.
6. ГОСТ 31873-2012. Нефть и нефтепродукты. Методы ручного отбора проб.
7. ASTM D4057 – 12. Стандартная методика ручного отбора проб нефти и нефтепродуктов.
8. ГОСТ 8226-2015. Топливо для двигателей. Исследовательский метод определения октанового числа.

УДК 621.923

ТЕХНОЛОГИЯ ПОДГОТОВКИ КРОМОК ИЗДЕЛИЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПЕРЕД СВАРКОЙ

Макковеева Валерия Максимовна,
группа ТАММ-17
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. В статье рассматривается прогрессивный метод технологии обработки поверхностей деталей в машиностроении. Представлены результаты экспериментальных исследований технологии подготовки кромок методом магнитно-абразивной обработки пластин из алюминиевого сплава и последующей сварке.

Ключевые слова: ферроабразив; постоянные магниты; финишная обработка

TECHNOLOGY OF PROCESSING EDGES PLATES FROM ALUMINUM ALLOYS BEFORE WELDING

Makkoveeva Valeriia,
group TAMM –17,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. In the article the progressive processing method surfaces of parts in mechanical engineering is considered. The results of experimental research by the method of magnetically-abrasive machining of plates made of aluminum fusion and subsequent welding.

Keywords: ferroabrasive; permanent magnets; finishing

В настоящее время проблеме повышения качества сварных соединений уделяется достаточно большое внимание. Причиной этому служат дефекты сварного шва, возникающие в процессе сварки кромок изделий, которые приводят к ухудшению эксплуатационных свойств конструкций, преждевременному разрушению и выходу оборудования из строя.

Особо важным фактором в создании качественного сварного соединения является предварительная подготовка кромок изделий под сварку, на которую тратится около 15-20% рабочего времени сварщика. Предварительная подготовка включает в себя полное удаление оксидных пленок, очистка от смазки и других механических загрязнений, устранение трещин и впадин с кромок изделий, образовавшихся после резания.

Традиционные методы финишной подготовки кромок изделий часто не соответствуют современным требованиям [1]. Возникает необходимость создания более эффективных технологий, основанных, к примеру, на энергии магнитного поля, широко использующегося во многих областях техники [2].

Одной из таких технологий является магнитно-абразивная обработка (МАО). МАО включает в себя свойства как механического, так и физического методов обработки [3]. Механическая составляющая заключается в абразивном порошке, физическая же – порошку дополнительно придают ферромагнитные свойства. Благодаря им порошок приобретает «связанное состояние» под воздействием наведенного в зоне обработки магнитного поля, являющегося важнейшим фактором процесса обработки [4, 5].

В данном исследовании была проведена магнитно-абразивная подготовка кромок пластин из алюминия, после чего произведен процесс сварки подготовленных кромок посредством аргона [7, 14].

При МАО использовался магнитно-абразивный материал (МАМ) Fe-TiC с гранулометрическим составом 125…100 мкм, абразивная способность *Ra* = 0,077 мкм [7, 13]. В качестве СОЖ была выбрана эмульсия на основе воды с добавлением керосина 1% и глицерина 1%, так как данная смесь проста в изготовлении и не требует химического образования. Кроме того, она обладает диспергирующими и моющими свойства, что положительно сказывается на процессе обработки мягких материалов [2, 7, 8].

Пластины, подвергаемые МАО, были взяты из алюминиевого сплава АМг-6, толщиной 1,5 мм и размерами заготовок 50 х100 мм [8, 11]. МАО осуществлялась на устройстве, созданном на основе лобзика, а также ванночки с СОЖ и МАМ. В процессе МАО лобзик совершал возвратно-поступательные движения с большой частотой. Для создания постоянного магнитного поля были использованы неодимовые магниты [6].

В результате магнитно-абразивной подготовки кромок пластин из алюминия (рис. 1) было установлено, что толщина снимаемого слоя металла в процессе МАО составляет 3 мкм, однако толщина оксидной пленки составляет порядка 0,1 мкм, что позволяет утверждать о ее полном удалении с поверхностей кромок [8, 9, 10, 12].

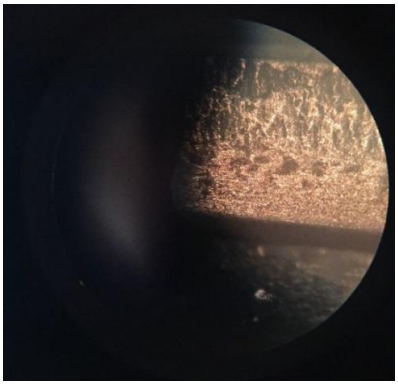


Рис. 1 – Поверхность заготовки после обработки

Рис. 2 – Сварной шов обработанных заготовок

После подготовки кромок пластин был произведен процесс сварки (рис. 2) и контроль качества сварного шва. В результате установлено, что дефекты в виде непроваров и трещин отсутствуют, а также процесс сварки протекал без усилий со стороны сварщика [3, 14, 15, 16]. Таким образом, предварительная магнитно-абразивная подготовка кромок пластин из алюминиевого сплава марки АМг-6 позволяет получать после процесса сваривания качественные сварные швы и перспективна в применении.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Акулович Л.М.* Основы магнитно-абразивной обработки металлических поверхностей / Л.М. Акулович, Л.Е Сергеев, В.Я. Лебедев. – Минск: БГАТУ, 2012. – 316 с.
2. *Акулович Л.М.* Технология и оборудование магнитно-абразивной обработки металлических поверхностей различного профиля / Л.М. Акулович, Л.Е. Сергеев. – Минск: БГАТУ, 2013. – 372 с.
3. *Su Y.* Influence of alloy elements on microstructure and mechanical property of aluminum-steel lap joint made by gas metal arc welding / Y. Su, X. Hua, Y. Wu // J. Mater. Process. Technol, 2014, Vol. 214, C. 750-755.
4. *Максаров В.В.* Технологическое обеспечение шероховатости резьбовых поверхностей посредством предварительного магнитно-абразивного полирования метчика / В.В. Максаров, А. И. Кексин // Металлобработка, 2018, Т. 2, С 35 - 40.
5. *Максаров В.В.* Технологическое повышение качества сложнопрофильных поверхностей методом магнитно-абразивного полирования / В.В. Максаров, А.И. Кексин // Металлообработка, 2017, Т. 1(97), С. 47 - 57.
6. *Максаров В.В.* Повышение эффективности технологического процесса изготовления внутренних резьб в изделиях горных машин / В.В. Максаров, А.И. Кексин А.И., С.А. Ткаченко / Металлообработка, 2016, Т. 2(92), С. 27-34.
7. *Mishra R.S.* Friction Stir Welding and Processing / R.S. Mishra, M.W. Mahoney // ASM International, Materials Park, Ohio, USA, 2007.
8. *Хомич Н.С.* Магнитно-абразивная обработка изделий. – Минск: БНТУ, 2006. – 218 с.
9. *Maksarov V.* Machining quality when lathing blanks with ceramic cutting tools / V. Maksarov, A. Khalimonenko, D. Timofeev // Agronomy Research, 2014, Vol. 12(1), C. 269-278.
10. *Efimov A.E.* Technological quality assurance of hydraulic cylinder stock manufacturing based on high-energy impact on product surface / A.E. Efimov, V.V. Maksarov, A.I. Keksin / Advances in engineering research, 2018, Vol. 1(177), C 321-327.
11. *Maksarov V.V.* Technology of magnetic-abrasive finishing of geometrically-complex products / V.V. Maksarov, A.I. Keksin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, Vol. 327(4), 042068.

.

12. *Maksarov V.V.* Forming conditions of complex-geometry profiles in corrosion-resistant materials / V.V. Maksarov, A.I. Keksin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 194(4).
13. *Olt J.J.* Internal thread cutting process improvement based on cutting tools treatment by composite powders in a magnetic field / J.J. Olt, V.V. Maksarov, A.I. Keksin / Journal of Silicate Based and Composite Materials, 2018, Vol. 70(4), C. 128-131.
14. *Podrzaj P.* Welding defects at friction stir welding / P. Podrzaj, B. Jerman, D. Klobcar // Metalurgija, 2015, Vol. 54, C. 387–389.
15. *Максаров В.В.* Влияние структурных параметров режущей керамики на работоспособность инструмента при обработке прецизионных поверхностей деталей горных машин / В.В. Максаров, А.Д. Халимоненко // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2017, Т. 8 (1), С 56-64.
16. *Barlas Z.* Effects of FWS parameters on joint properties of AlMg3 alloy / Z. Barlas, U. Ozsarac // Welding Journal, 2012, Vol. 91, C. 16–22.

УДК 62-242.3; 621.941.1

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ ДВС

Максимов Дмитрий Дмитриевич,
группа ТАММ-18,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. Рассмотрены требования, предъявляемые обеспечению геометрических параметров поршневых колец двигателей внутреннего сгорания. Представлена методика определения формы кольца в свободном состоянии. Предложено специальное устройство для радиальной ориентации, позволяющее точно позиционировать поршневые кольца на рабочем столе в автоматизированном режиме при токарной обработке.

Ключевые слова: поршневое кольцо; эпюра радиальных давлений; токарная обработка; точность позиционирования

TECHNOLOGICAL SUPPORT OF GEOMETRICAL PARAMETERS OF PISTON RINGS

Maksimov Dmitriy Dmitrievich,
group TAMM-18
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. The requirements for the geometric parameters of internal combustion engine piston rings are considered. The technique of determining the shape of the ring in a free state is presented. A special device for radial orientation is offered, which allows precise positioning of piston rings on the desktop in automated mode during turning.

Keywords: piston ring; radial pressure diagram; turning; positioning accuracy

Поршневые кольца двигателей внутреннего сгорания во многом определяют долговечность работы цилиндропоршневой группы в целом. Повышение качества поршневых колец часто основано на совершенствовании заготовок [1-6], методов обработки с использованием современных инструментальных материалов [7-10], а также применению износостойких покрытий [11-15].

Производство высококачественных поршневых колец настолько сложно, что сосредотачивается по большей части на специальных заводах с применением специального технологического оборудования, позволяющего

получить необходимую форму кольца. При этом необходимо обеспечить точно заданную форму кольца в свободном состоянии и соответствующую эпюру радиальных давлений на стенки цилиндра [16, 17].

Для определения формы кольца в свободном состоянии применяем метод инверсии и предполагаем, что кольцо в цилиндре имеет круглую форму и находится в ненапряженном состоянии. На рис. 1 изображена осевая линия полукольца, закрепленного в начале координат (точка «*0*»). На кольцо действует момент *M*, вызываемый радиальными силами, которые направлены от центра и распределены равномерно по окружности кольца.

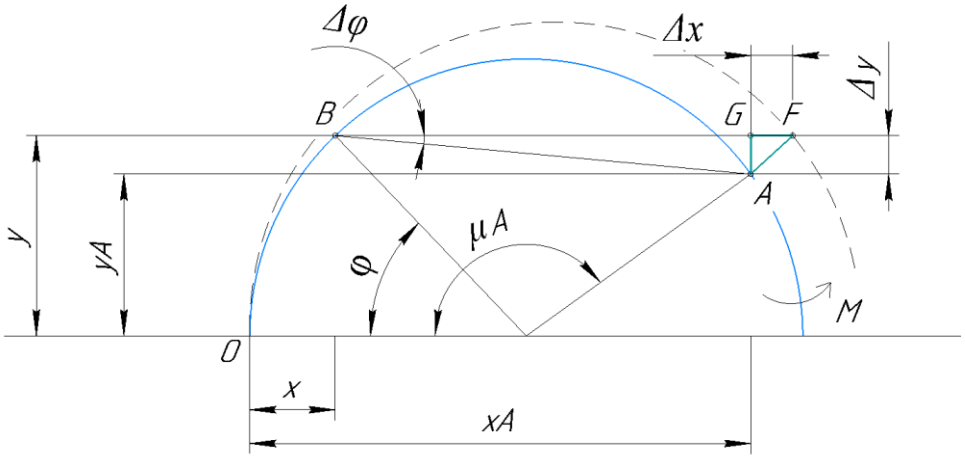


Рис. 1 - Определение формы кольца постоянного давления

Так действие момент *M* на произвольную точку *B* кольца с координатами *x*, *y* и углом φ выражается в повороте сечения на малый угол, равный $\Delta\varphi$, точка *A* с координатами x_A, y_A и углом φ_A перемещается на величину, равную $AB\Delta\varphi$ и переходит в точку *F*.

Была построена кривая, соответствующая форме кольца постоянного радиального давления Ø210 мм (рис. 2).

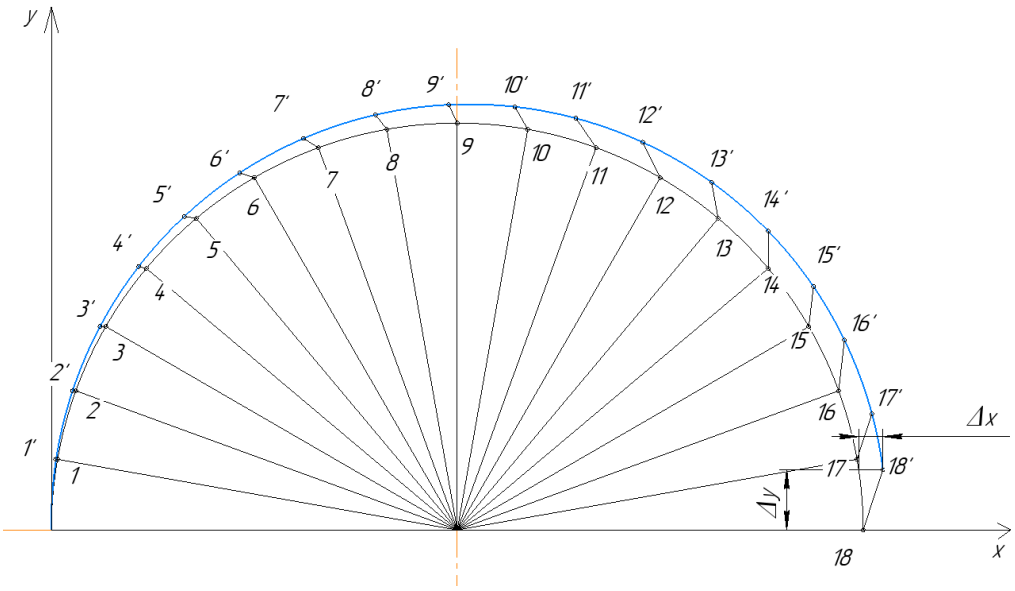


Рис. 2 - Определение формы кольца постоянного давления

Для получения необходимой формы кольца в свободном состоянии методом обработки заготовок по копиру на токарных станках с вертикальным шпинделем, требуется специальное устройство, которое позволит точно позиционировать поршневые кольца на рабочем столе в автоматизированном режиме.

Устройство (рис. 3) представляет собой гидроцилиндр (1), шток которого соединен со штангой (2). На конце штанги находится оправка (3), имеющая форму, схожую с формой внутреннего диаметра кольца равномерного радиального давления. Оправка соединена со штангой резьбой и закреплена шплинтом с целью предотвращения самоотвинчивания.

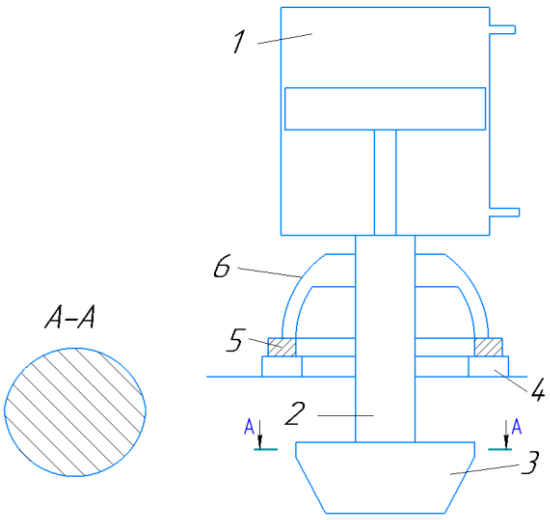


Рис. 3 – Схема устройства для радиальной ориентации поршневых колец

При поступлении на рабочий стол (4) заготовки под поршневое кольцо (5), штанга (2), под действием гидроцилиндра (1), начинает движение вниз, ориентируя заготовку в радиальном направлении, необходимом для копирного точения, оправкой (3) и в вертикальном направлении прижимом (6).

Предлагаемое устройство позволит повысить точность позиционирования заготовки на рабочем столе за счет сложного профиля оправки (разрез А-А), предотвратить возможные погрешности при загрузке заготовок в магазин, автоматизировать технологический процесс токарной и фрезерной обработки поршневых колец.

Возможность смены оправки, позволяет обрабатывать поршневые кольца различного диаметра с использованием предлагаемого устройства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бевза В.Ф.* Совершенствование структуры и свойств заготовок деталей горного и нефтеперерабатывающего машиностроения из чугуна «нирезист» / В.Ф. Бевза, В.П. Груша, В.А. Красный // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2018, Т. 2, С. 156-167.

2. *Марукович Е.И.* Повышение эксплуатационных свойств ответственных деталей горных машин из легированных чугунов / Е.И. Марукович, В.Ф. Бевза, В.П. Груша, В.А. Красный // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2016, Т. 10, С. 48-60.

3. *Красный В.А.* Перспективы использования метода направленного затвердевания металла для повышения эксплуатационных свойств деталей

горных машин / В.А. Красный, В.Ф. Бевза, В.П. Груша // Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, С. 68-72.
4. Марукович Е.И. Повышение качества деталей из чугунов путем совершенствования процесса структурообразования / Е.И. Марукович, В.Ф. Бевза, В.П. Груша, В.А. Красный // Двигателестроение, 2015, Т. 1(259), С. 35-40.
4. *Бевза В.Ф.* Влияние обработки холодом на свойства аустенитного чугуна / В.Ф. Бевза, В.П. Груша, В.А. Красный // Материалы международной научно-технической конференции «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии». ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», 2015, С. 92-93.
5. *Бевза В.Ф.* Литье заготовок малого диаметра направленным затвердеванием / В.Ф. Бевза, В.П. Груша, В.А. Красный // Материалы международной научно-технической конференции «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии». ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», 2015, С. 75-76.
6. *Халимоненко А.Д.* Точность обработки при точении заготовок режущим инструментом, оснащенным сменными керамическими пластинами / А.Д. Халимоненко, Р.В. Вьюшин // Записки горного института, 2014, Т. 209, С. 99-103.
7. *Maksarov V.V.* Simulation of dynamic processes when machining transition surfaces of stepped shafts / V.V. Maksarov, V.A. Krasnyy, R.V. Viushin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 022047.
8. *Красный В.А.* Триботехнические характеристики деталей горных машин с регулярной микрогеометрией поверхности / В.А. Красный, В.В. Максаров // Металлообработка, 2016, Т. 1(91), С. 29-35.
9. *Krasnyy V.* Increase of wear and fretting resistance of mining machinery parts with regular roughness patterns / V. Krasnyy, V. Maksarov, J. Olt // Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium, 2016, Vol. 27, С. 151-156.
10. *Ольт Ю.* Обеспечение адгезионной прочности газотермических покрытий поршневых колец двигателей карьерного транспорта / Ю. Ольт, В.В. Максаров, В.А. Красный // Записки Горного института, 2018, Т. 229, С. 77-83.
11. *Maksarov V.V.* The formation of surface roughness of piston rings for the purpose of improving the adhesion of wear-resistant coatings / V.V. Maksarov, V.A. Krasnyy // Key Engineering Materials, 2017, Vol. 736, С. 73-78.
12. *Максимов Д.Д.* Применение ионно-плазменных покрытий для повышения износостойкости ответственных деталей двигателей внутреннего сгорания / Д.Д. Максимов, И.С. Шунькин // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: сб. ст. по мат. XLVIII Междунар. студ. науч.-практ. конф. № 11(47).

13. *Красный В. А.* Оценка влияния шероховатости поверхности на повышние прочности сцепления износостойкого напыляемого покрытия / В.А. Красный, В.В. Максаров // Металлообработка, 2014, Т. 5, С. 47-51.
14. *Мяконьков М.Б.* Сравнительные исследования способов нанесения покрытий на поршневые кольца для уменьшения их износа / М.Б. Мяконьков // Металлообработка, 2010, Т. 3, С. 36- 39.
15. *Кравченко И.Н.* Обеспечение надежности адгезионной связи плазменных покрытий на поршневых кольцах ДВС с учетом их теплового и термонапряженного состояния / И.Н. Кравченко, Е.М. Бобряшов, А.Ф. Пузряков // Международный журнал экспериментального образования, 2013, Т. 10, С. 358-361.
16. *Максаров В.В.* Влияние структурных параметров режущей керамики на работоспособность инструмента при обработке прецизионных поверхностей деталей горных машин / В.В. Максаров, А.Д. Халимоненко // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2017, Т. 8 (1), С 56-64.
17. *Загребин Г.Г.* Расчет формы поршневых колец в свободном их состоянии / Автомобильная промышленность, 2014, Т. 10, С. 13-15.

УДК 622.271.5

СПОСОБ ОТРАБОТКИ ГЛУБОКОВОДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ КОНКРЕЦИЙ (ЖМК) ГРУНТОЗАБОРНЫМ УСТРОЙСТВОМ В ЗОНЕ РОССИЙСКОГО РАЗВЕДОЧНОГО РАЙОНА

Малеванный Дмитрий Владимирович,
группа ТПР-15,
Санкт-Петербургский горый университет

Аннотация. Предложен способ отработки твердых полезных ископаемых (ТПИ), а именно железомарганцевых конкреций (ЖМК), залегающие как в шельфовой зоне прибрежных морей Российской Федерации, так и в глубоководных районах Мирового океана, а также приведена приблизительная производительность такого способа. Подробно описан вариант транспортирования ТПИ, без использования силового оборудования по длине трубопровода. Представлены приблизительные показатели производительности предложенного способа отработки.

Ключевые слова: подводная добыча; конкреции; технические средства; транспортирование; гидроподъем; промежуточная капсула

METHOD OF UNDERWATER MINING OF IRON-MANGANESE CONCRETIONS (IMC) GRUNTUBELEM DEVICE

Malevannyy Dmitriy Vladimirovich,
group TPR-15,
Saint-Petersburg Mining University

Abstract. The method of mining of solid minerals (SO), namely iron-manganese concretions (IMC), lying both in the shelf zone of the coastal seas of the Russian Federation and in the deep-sea areas of the World ocean, is proposed, and the approximate performance of this method is given. Detailed description of the transportation option SO, without the use of power equipment along the length of the pipeline. The approximate performance indicators of the proposed method of mining are presented.

Keywords: underwater mining, nodules, equipments, working heads; transportation; jacking system; provisional capsule

Введение.

Минерально-сырьевые запасы Мирового океана имеют огромный потенциал для освоения. Среди разведанных глубоководных твердых полезных ископаемых (ТПИ) огромный интерес представляют

железомарганцевые конкреции (ЖМК), на разработку которых заключен контракт с Международной организацией по морскому дну (МОМД) в 2001 году [4]. Участок раположен в глубоководных районах океана – Тихий океан, рудное поле Кларион-Клиппертон. Глубина залегания конкреций – от 4700 до 5200 м, большая часть рудной площади локализована в интервале глубин 4900 - 5000 м [1]. По ресурсному потенциалу и по содержанию полезных компонентов глубоководные ЖМК значительно превосходят шельфовые [2, 3].

Для разработки ТПИ на глубоководных месторождениях, необходимы надежные и эффективные средства механизации, обладающие достаточной производительностью и надежностью. Среди предложенных систем отработки наиболее перспективными для промышленных масштабов являются комплексы с погружной самоходной техникой.

Все добычные комплексы, использующие погружную самоходную технику, можно разделить на три составляющие: придонная машина, с грунтозаборным рабочим органом; система доставки ТПИ на поверхность; судно-приемник для складирования конкреций. В настоящий момент представлено множество решений грунтозаборного устройства (ГЗУ) и судна-приемника, способные обеспечить требуемую производительность [5, 7, 8, 12]. В свою очередь, системы доставки ТПИ имеет существенные проблемы. Они подразделяется на два типа: поточная и цикличная. Поточная система обеспечивает промышленную производительность, но является недопустимо энергоемкой, в виду использования силового оборудования. Цикличная система практически не тратит энергию (в сравнении с поточной), но не способна обеспечить требуемую производительность, так как процесс подъема и опускания на глубину 5000 метров может занимать более 7 часов. Следовательно, пока что нет систем доставки ТПИ, которые смогли бы обеспечить экономическую целесообразность добычного комплекса.

Способ отработки.

Одним из вариантов поточной системы являются комплексы, в состав которых входит промежуточная капсула с атмосферным давлением [6, 9]. Такие системы являются перспективными, так как являются энергетически эффективными, за счет использования в качестве источника энергии постоянного гидростатического напора [10, 11]. Недостатком являются насосные установки, размещенные внутри капсулы. Они обеспечивают слишком большую нагрузку на энергетическую составляющую системы, а так же усложняют обслуживание и снижают ее надежность.

Предлагаемый способ отработки, подразумевает исключение силовой составляющей из транспортного звена. Подъем гидросмеси осуществляется комплексом (рис. 1). Комплекс представляет собой плавсредство (1), размещенную на нем лебедку (2) для спуска-подъема, разгрузочную установку (3). На лебедках подвешена полая капсула (4) для транспортирования ТПИ. Между плавсредством и капсулой имеется вентиляционный канал (5), в следствии чего полость капсулы заполнена атмосферным воздухом. Также, капсула соединена гибким трубопроводом

(6) с придонным бункером (7), для сообщения гидросмеси из бункера в капсулу.

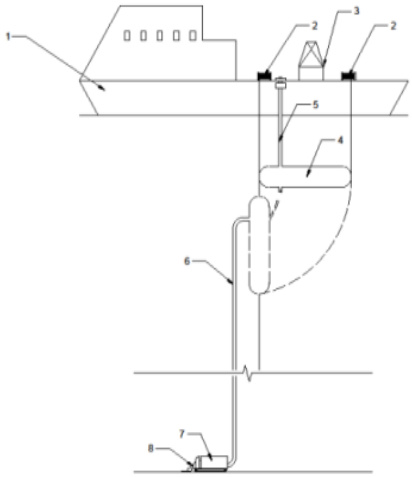


Рис. 1 – Схема комплекса

Подъем конкреций в виде гидросмеси осуществляется за счет гидростатического напора, обусловленного погружением капсулы.

Придонный бункер соединен посредством перегружателей с грунтозаборным устройством (8), которое с помощью барабанного рабочего органа, взрыхляет почву с целью отделения конкреций от ила.

Технические показатели капсулы.

Была разработана методика расчета некоторых показателей капсулы, необходимых для вычисления предельной производительности комплекса по транспортному звену. За исходные данные принимался объем капсулы, увеличение которого повысит производительность, но также и увеличит требуемую грузоподъёмность лебедок, а, следовательно, и их размер, что является невозможным в условиях ограниченного размера плавсредства. По предварительным расчетам представлены некоторые показатели способа отработки (табл. 1)

Таблица 1

Показатели способа отработки

Технические показатели						
V, м^3	$V_{пол}$, м^3	$t_{цикла}$, мин	$n_{цикл}$	$Q_{смеси}$, м^3/сут	$Q_{тпи}$, т/сут	Q, т/год
340	294,44	170	8	2355	1827,48	639 618
804	696,26	210	6	4177,56	3241,79	1 134 626,5
1571	1360,49	280	5	6802,45	5278,71	1 847 548,5

Обозначения, представленные в табл. 1:

V – принятый объем капсулы; $V_{пол}$ – полезный объем, заполненный атмосферным воздухом; $t_{цикла}$ – время цикла, состоящего из спуска, загрузки, подъема, разгрузки; $n_{цикл}$ – количество циклов в сутки; $Q_{смеси}$ – поднимай объем гидросмеси в сутки; $Q_{тпи}$ – поднимай объем ТПИ в сутки; Q – предельная годовая производительность транспортного звена.

Заключение.

По сравнению с другими системами разработки, предложенная система обладает рядом явных преимуществ: низкие энергозатраты на

транспортирование, так как не используются насосы; обеспечение промышленной производительности, так как время опускания-подъема сравнительно мало с другими системами; отсутствие силового оборудования также приводит к большей надежности конструкции. Показатели производительности являются промышленно целесообразными и обеспечивают экономическую выгоду разработки месторождения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иванова А.М.* Кайнозойский рудогенез в шельфовых областях России / А.М.Иванова, А.Н.Смирнов, В.И.Ушаков. – СПб.: ВНИИОкеангеология, 2005. – 168 с.
2. *Добрецов В.Б.* Основные вопросы минеральных ресурсов Мирового океана / В.Б. Добрецов, В.А. Рогалев. - СПб.: Международная академия наук экологии, безопасности человека и природы, 2003. - 524 с.
3. *Батурин Г.Н.* Руды океана. - М.: Наука, 1993. - 303с.
4. *Каширский А.С.* Перспективы развития морской горнодобывающей отрасли в России / Горная промышленность, 2016, Т. 2(126), С. 64-66.
5. Установка для добычи полезных ископаемых со дна акватории / Б.С. Маховиков, В.В. Шорников, А.Б. Незаметдинов, А.В. Шалыгин // Пат. РФ №2203421 МПК E21C50/00 10.10.2001. – опубл. 27.04.2003
6. *Маховиков Б.С.* Горнодобывающий комплекс для морской разработки твердых ПИ / Б.С. Маховиков, М.Л. Кабанов // Горные машины и автоматика, 2003, Т. 5, С. 30-32.
7. Грунтозаборное устройство / В.И. Медведков, А.Б. Незаметдинов, Д.Ю. Кондаков, С.Л. Сержан // Пат. РФ №2459083 МПК E21C 50/00, 2010.- опубл. 20.08.2012.
8. Грунтозаборное устройство / В.И. Медведков, В.И. Александров, С.Л. Сержан // Пат. РФ №2517288 МПК E21C 50/00, E02F 3/88 27.11.2012. – опубл. 27.05.2014 бюл. №15
9. *Сержан С.Л.* Оснащение грунтозаборного устройства рабочим органом с объемным гидродвигателем / Горное оборудование и электромеханика, 2013, Т. 10, С. 39-42.
10. *Сержан С.Л.* Влияние глубины погружения капсулы с пульпоперекачным оборудованием на эффективность добычи полезного ископаемого морским добычным комплексом / С.Л. Сержан, В.И. Медведков // Горное оборудование и электромеханика, 2016, Т. 3, С. 34-42.
11. *Serzhan S.L.* Determining the Rational Immersion Depth of a Mining Complex Capsule for Underwater Mining of Ferromanganese Nodules / Procedia Engineering, 2016, Vol. 150, C. 924-929.
12. *Тимофеев И.П.* Шагающие машины для освоения ресурсов морского дна. – Л.: ЛГИ, 1987. – 176 с.

УДК 621.791

МЕТОД ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТУПЕНЧАТЫХ ВАЛОВ ПРИ ПОМОЩИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СВАРКИ

Матреничев Кирилл Геннадьевич,
группа ТАММ–18,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. В статье рассмотрена возможность применения метода автоматизированной сварки при изготовлении валов машин. Метод позволяет изготавливать детали цилиндрической формы на автоматическом оборудовании при помощи программируемого манипулятора, подающего электрод в место соединения элементов детали. Метод позволяет достигнуть параметров качества деталей, полученных при токарной обработке, повысить производительность и снизить себестоимость изготовления.

Ключевые слова: автоматизированная сварка; детали машин; сварка трением; ступенчатый вал.

METHOD OF MANUFACTURING STEPPED SHAFTS BY MEANS OF AUTOMATED WELDING

Matrenichev Kirill,
group TAMM –15,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. In article possibility of application of a method of the automated welding at manufacturing of shafts of cars is considered. The method allows to produce cylindrical-shaped parts on automatic equipment by means of a programmable manipulator that supplies the electrode to the place of connection of the component elements. The method allows to achieve quality parameters of parts obtained during turning, to increase productivity and reduce production costs

Keywords: Automated welding; machine parts; friction welding; stepped shaft.

В сфере современного производства новые инженерные решения формируются исходя из принципа эффективности и экономической рентабельности. Существующий на сегодняшний день метод изготовления ступенчатых валов и деталей цилиндрической формы обычно предполагает изготовление деталей на токарном станке, что означает, что часть материала заготовки будет израсходована не эффективно, превратившись в стружку. Для повышения эффективности расхода материала предлагается рассмотреть

и разработать новый метод изготовления деталей цилиндрической формы - метод автоматизированной сварки.

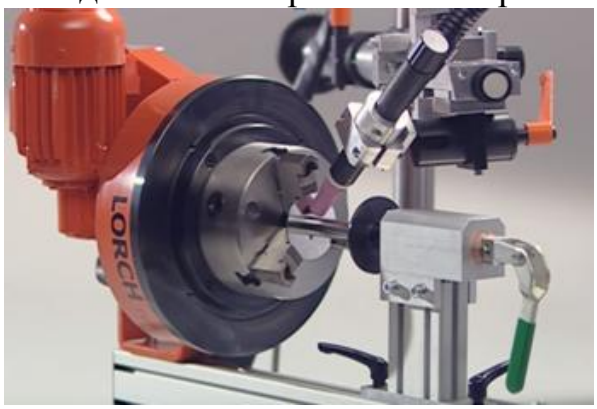


Рис. 1 - Автоматическая сварка кольцевых швов

Метод изготовления ступенчатых валов при помощи автоматизированной сварки предполагает, что ступени вала, изготовленные отдельно из прутков различного диаметра, будут привариваться друг к другу на специальном оборудовании [1]. Принцип работы такого оборудования заключается в том, что заранее ориентированные и расположенные соосно заготовки (ступени) вала синхронно вращаются в шпинделе станка, при этом к месту, где ступени стыкуются, подведен сварочный электрод (рис. 1). Равномерно вращаясь, ступени свариваются друг с другом при помощи электрода, а их вращение обеспечивает ровность и аккуратность шва и равномерное распределение тепловой нагрузки [1, 2].

Помимо экономии материала, предложенный метод дает возможность изготавливать валы, материал ступеней которых будет различаться [2]. Конечно, существуют ограничения на применение предлагаемого метода, например ограничения связанные с прочностью вала на изгиб и кручение, ограничения по точности размеров и формы изделия, появляющиеся в связи с тепловым воздействием на участок стыка заготовок. Однако, принимая в расчет указанные ограничения, реализация предложенного метода позволит снизить стоимость изготовления валов за счет снижения расхода материала. Так же метод добавляет новые технологические возможности по сравнению с точением (например, керамическим инструментом) [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11], такие как соединение нецилиндрических частей изделия с цилиндрическими, соединение частей из разнородных материалов, соединение ступеней валов с несовпадающими осями. Помимо перечисленных достоинств следует учесть также, что затраты на режущий инструмент превышают затраты на сварочные материалы, что является еще одним достоинством метода.

Реализация метода предполагает решение некоторых задач, связанных с ориентированием заготовок в рабочей области оборудования. Для получения детали требуемого качества необходимо располагать заготовки соосно, а торцевые участки заготовок должны обладать высокими показателями плоскостности и низким отклонением перпендикулярности от осей заготовок. Выдерживание указанных параметров на необходимом уровне обеспечит прямолинейность оси цилиндрической детали и прочность сварного соединения. Для обеспечения этих показателей необходимо:

- при отрезании заготовки использовать такое оборудование, которое позволит добиться необходимой плоскостности и минимального отклонения от перпендикулярности торца и оси заготовки (при необходимости следует дополнительно торцевать заготовку);

- необходимо разработать специальное приспособление или метод предварительной сборки (рис. 2), позволяющие ориентировать заготовки соосно и, в то же время, обеспечивающие синхронное вращение ступеней для равномерной сварки.

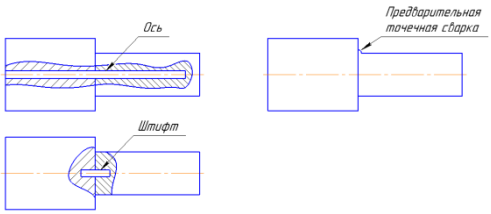


Рис. 2 - Способы предварительной сборки деталей для сварки на автоматизированном оборудовании

Существует несколько методов предварительной сборки - ступени изделия могут предварительно точечно привариваться в необходимом положении или заготовки могут предварительно насаживаться на ось. Перспективным методом решения проблемы ориентации заготовок является разработка специальной технологической оснастки, например, соосность может обеспечить система люнетов, а синхронное вращение - прижимной вращающийся центр, но такая система так же требует исследований и доработки.

Рис. 3 - Сварка трением

Сама сварка заготовок может осуществляться не только при помощи электронной дуги и подведенного электрода, в основе предложенного метода так же может лежать сварка трением (рис. 3). Сварка трением позволит обеспечить соосность заготовок за счет выдерживания соосности шпинделя оборудования и зажимного устройства, хотя процессы происходящие во время сварки трением могут сильно сказываться на точности формы и взаимного расположения поверхностей, но при этом отсутствуют затраты на сварочные материалы, пропадает необходимость в специальной оснастке или предварительной сборке, а сварка трением обеспечивает соединение заготовок по всей поверхности стыка, в отличие от сварки электродом, где соединение происходит только по шву [12, 13].

Рис. 4 - Шов, полученный автоматической сваркой

Сфера применения изделий цилиндрической формы, изготовленных предложенным методом весьма широкая - такой метод подходит для изготовления фланцевых стаканов различной конфигурации, распределительных валов, крышек, карданных валов, ступенчатых валов редукторов, штуцеров и т.д. (рис. 4).

Данный метод пока еще требует тщательной проработки и нуждается в исследованиях, зато в перспективе метод позволит изготавливать изделия цилиндрической формы на полностью автоматическом оборудовании, где программируемый манипулятор будет подавать электрод в место сварки. Качество сварных изделий будет сравнимо с изделиями полученными точением, а производство станет значительно дешевле из-за увеличения производительности и снижения себестоимости. Кроме этого, применение предложенного метода позволит снизить расходы, идущие на переработку металлической стружки [14, 15].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Коновалов В.В.* Обоснование устройства для сварки дисковых и цилиндрических деталей / *В.В. Коновалов, В.Ю. Зайцев, Е.В. Саянкина //* Инновационные достижения науки и техники АПК. Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. 2018. С. 618-621.
2. *Красильников В.В.* Повышение технологичности точечной сварки с перемешиванием с разделением цикла сварки / В.В. Красильников, В.В. Каратыш // Master's Journal. 2015. № 2. С. 137-145.
3. *Тимофеев Д.Ю.* Повышение точности изготовления прецизионных поверхностей детали шток гидроцилиндров / Д.Ю. Тимофеев, А.Е. Ефимов // Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, С. 142-145.
4. *Тимофеев Д.Ю.* Повышение качества изготовления деталей из титановых сплавов с применением метода предварительного локального пластического деформирования / Д.Ю. Тимофеев, Е.В. Кошелева // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME-2017. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, 2017, Т. 1, С. 302-305.
5. *Maksarov V.V.* Simulation of dynamic processes when machining transition surfaces of stepped shafts / V.V. Maksarov, R.V. Viushin, V.A. Krasnyy // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, Vol. 327, C. 022047.
6. *Mavliutov A.R.* Optimization of cutting parameters for machining time in turning process / A.R. Mavliutov, E.G. Zlotnikov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 327, C. 42069.
7. *Ershov D.Y.* Dynamic processes in technological systems of machining and the nature of their origin / D.Y. Ershov, E.G. Zlotnikov, L.E. Koboyankwe // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 87 (8), C. 82016.
8. *Халимоненко А.Д.* Точность обработки при точении заготовок режущим инструментом, оснащенным сменными керамическими пластинами / А.Д. Халимоненко, Р.В. Вьюшин // Записки горного института. 2014. Т. 209. С. 99-103.
9. *Maksarov V.V.* Quality assurance during milling of precision elements of machines components with ceramic cutting tools / V.V. Maksarov,

A.D. Khalimonenko // International Review of Mechanical Engineering, 2018. Vol. 12 (5), С. 437-441.
10. *Максаров В.В.* Влияние структурных параметров режущей керамики на работоспособность инструмента при обработке прецизионных поверхностей деталей горных машин / В.В. Максаров, А.Д. Халимоненко // Горный информационно-аналитический бюллетень 2017. Т. 8 (1), С 56-64.
11. *Халимоненко А.Д.* Анализ устойчивости работы многолезвийного инструмента, оснащенного режущей керамикой / А.Д. Халимоненко, Т.С. Голиков // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME-2017. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, 2017. Т. 1, С. 305-308.
12. *Люшинский А.В.* Особенности технологии диффузионной сварки разнородных материалов Тяжелое машиностроение. 2001. № 8. С. 26-28.
13. *Хуснуллин А.М.* Управление линейной сваркой трением / А.М. Хуснуллин, Р.М. Кашаев // Письма о материалах. 2016. Т. 6. № 3 (23). С. 227-230.
14. *Злотников Е.Г.* Выбор технологической схемы переработки металлической стружки в автоматизированном производстве / Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции. 2016. С. 91-93.
15. *Злотников Е.Г.* Современные технологии переработки и брикетирования металлической стружки в автоматизированных производствах /
Е.Г. Злотников, В.В. Максаров // Записки Горного института. 2014. Т. 209. С. 36-38.

УДК 621.691.4

РАСЧЕТ ЭЖЕКТОРНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ СБРОСА ПАРОВ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА (СПГ)

Мартыненко Яна Владимировна,
группа НТМ-18,
Санкт-Петербургский горный
университет

Аннотация. В работе предлагается комплекс технологических решений по обеспечению безопасности и ресурсосбережения при хранении и малотоннажном производстве сжиженного природного газа (СПГ). Для предотвращения плановых и аварийных превышений давления резервуары оборудованы газосбросными трубопроводами и предохранительными клапанами, через которые производится сброс избытка паровой фазы на факел системы или в атмосферу. В работе теоретически доказана эффективность использования газоуравнительной обвязки резервуара, включающей эжекторную систему, с целью снижения потерь сжиженного природного газа и энергозатрат при его безопасном хранении. Выбрана наиболее производительная аэродинамическая схема проточной части жидкостно-газового эжектора, которая позволит значительно снизить капиталовложения при строительстве и эксплуатации криогенных резервуаров. Работоспособность и принципиальная возможность реализации способа сброса паров с внедренным эжектором подтверждена численным моделированием, произведенным в программном обеспечении ANSYS.

Ключевые слова: сжиженный природный газ (СПГ); криогенный резервуар; жидкостно-газовый эжектор4 сброс паров СПГ; эжекторная система

ENGINEERING DESIGN OF THE EJECTOR SYSTEM FOR LIQUEFIED NATURAL GAS (LNG) VAPOR DISCHARGE

Martynenko Yana Vladimirovna,
group NTM-18,
Saint-Petersburg Mining University

Abstract. The article proposes a set of technological solutions to ensure safety during storage and resource saving low-tonnage production of liquefied natural gas (LNG). The tanks are equipped with gas discharge pipelines and safety valves to prevent planned and emergency pressure, through which the excess steam phase is discharged to the system torch or into the atmosphere. It was concluded that the efficiency of gas-equalizing tank strapping is proven theoretically, including the ejector system, in order to reduce the loss of liquefied natural gas and energy consumption during its safe storage. The most productive aerodynamic scheme of

the flow part of the liquid-gas ejector was chosen, which will significantly reduce the investment in the construction and operation of cryogenic tanks. The efficiency and the principal possibility of implementing a method of vapor discharge with an embedded ejector is confirmed by computational simulation produced in the ANSYS software.

Keywords: liquefied natural gas (LNG); cryogenic tank; liquid gas ejector; LNG vapor discharge; ejector system

Операциям по сбросу паровой фазы уделяется особое внимание не только в связи с экологической и пожарной безопасностью, но и в связи с потерей существенных объемов продукта. Одной из причин утечки сжиженных газов является чрезмерное повышение давления внутри резервуара вследствие повреждения приборов, предохранительных клапанов или ошибок операторов [11].

Согласно правилам безопасности, при превышении избыточного давления в резервуаре относительно номинального на заданную проектом величину производится сброс избытка паровой фазы СПГ, который сжигается в факеле системы. Если же требуемого снижения давления не происходит, то СПГ сбрасывается на свечу рассеивания непосредственно в атмосферу. Это приводит к значительным потерям дорогостоящего топлива. В случае если резервуар оборудован технологической обвязкой, то отбор избытка паровой фазы производится компрессорами, использование которых влечет за собой дополнительные энергозатраты [2].

В качестве альтернативы применяемым средствам контроля и сброса предлагается использовать насосно-эжекторные системы (НЭС), включенные в технологическую обвязку резервуара для поддержания рабочего давления путем сброса топлива в сепаратор за счет энергии высоконапорного потока газовой фазы. Такие системы преимущественно отличаются простотой, небольшими капиталовложениями и отсутствием необходимости дополнительных затрат энергии извне.

Выбор НЭС зависит от параметров откачиваемой смеси таких как давление, степень сжатия, расход. Для криогенных резервуаров СПГ наибольший интерес вызывает жидкостно-газовый эжектор (ЖГЭ). Принцип работы такого устройства заключается в том, что жидкая фаза низкого давления устремляется в камеру смешения за счет того, что в ней создана область разряжения высоконапорным потоком газовой фазы. Так как срабатывание предохранительных клапанов в резервуаре СПГ происходит при превышении избыточного давления паров, вопрос создания высоконапорного потока не возникает [3].

Предлагается включить жидкостно-газовый эжектор 3 в технологическую обвязку криогенных резервуаров СПГ так, что жидкая фаза будет устремляться в смесительную камеру эжектора за счет высоконапорного потока паровой фазы, возникающего при аварийном или периодическом сбросе. Двухфазный поток, пройдя ЖГЭ, будет подаваться в

сепаратор 4. После чего газовая фаза может использоваться в качестве технологических нужд резервуарного парка, а СПГ, при соответствии с требуемыми параметрами давления и температуры системы, транспортироваться обратно в резервуар 1. Таким образом, откачка смеси при помощи экономичного струйного аппарата позволит сократить объем в резервуаре и соответственно уменьшить избыточное давление (рис. 1) [1].

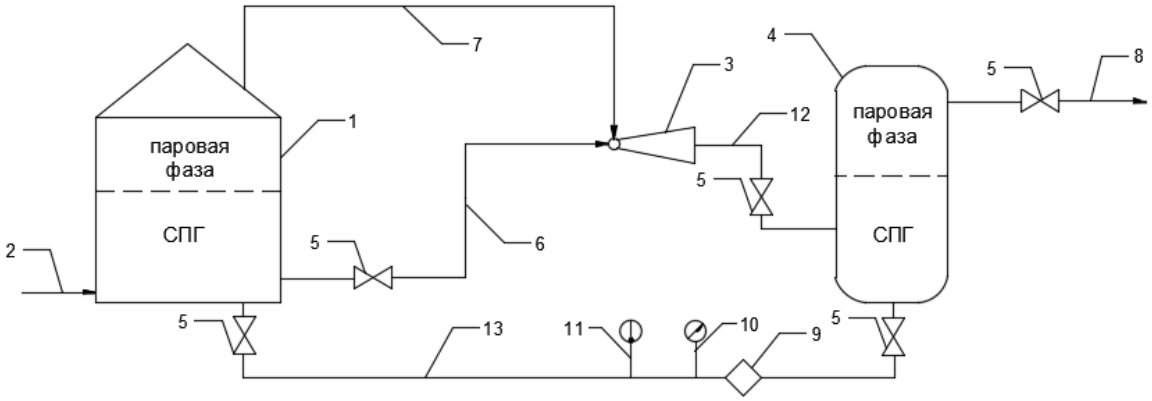


Рис. 1 - Принципиальная схема эжекторной системы для сброса паров СПГ:
1 – резервуар СПГ, 2 – трубопровод для подачи СПГ, 3 – эжектор жидкостно-газовый, 4 – сепарационная емкость, 5 – задвижка, 6 – линия подвода СПГ в эжектор, 7 – линия подвода паровой фазы в эжектор, 8 – трубопровод-отвод на технологические нужды, 9 – фильтр, 10 – манометр, 11 – термометр, 12 – линия подвода двухфазного потока, 13 – трубопровод-отвод СПГ

Для обоснования эффективности использования ЖГЭ произведен теоретический расчет определяющих показателей, в соответствии с которыми выбрана наиболее производительная аэродинамическая схема. Для наглядного анализа полученных результатов построены зависимости давления смеси на выходе из эжектора, приведенной мощности и коэффициента полезного действия от коэффициента эжекции. На основании выбранной схемы построена напорная характеристика устройства, работающего на оптимальном, срывном и предельном режимах. Произведен расчет геометрических размеров проточной части эжектора и представлена его конструктивная схема. Применимость способа сброса паров из резервуара сжиженного природного газа с использованием энергии потока паровой фазы и экономичного струйного насоса подтверждена численным моделированием в программном комплексе ANSYS.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент «Способ сброса паров из резервуара сжиженного природного газа (СПГ)» / В.А. Воронов, Я.В. Мартыненко // RU 2677022, 2018.
2. *Воронов В.А.* Применение жидкостно-газового эжектора в системах хранения сжиженного природного газа» / В.А. Воронов, Я.В. Мартыненко // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и

электромеханики IPDME-2018. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, 2018, С. 120.
3. *Донец К.Г.* Гидроприводные струйные компрессорные установки. - М.: Недра, 1990. - 174 с.
4. *Любин Е.А.* Обоснование технологии улавливания паров нефти из резервуаров типа РВС с использованием насосно-эжекторной установки. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. СПГГИ (ТУ). СПб., 2010. - 197 с.
5. *Морозова Н.В.* Универсальные характеристики жидкостно-газовых эжекторов / Н.В. Морозова, А.А. Коршак // Нефтегазовое дело: электронный научный журнал, 2013, Т. 6, С. 368-383.
6. *Рачевский Б.С.* Сжиженные углеводородные газы. – М.: «НЕФТЬ и ГАЗ», 2009. – 640 с.
7. ГОСТ Р 55892-2013. Объекты малотоннажного производства и потребления сжиженного природного газа. Общие технические требования. – Введ. 01-06-2014. – М.: Стандартинформ, 2014.
8. ГОСТ Р 56851-2016. Газ природный сжиженный. Метод расчета термодинамических свойств. – Введ. 18-01-2016. – М.: Стандартинформ, 2016.
9. ГОСТ Р 56021-2014. Газ горючий природный сжиженный. Топливо для двигателей внутреннего сгорания и энергетических установок. Технические условия. – Введ. 01-01-2016. – М.: Техэксперт, 2016.
10. ГОСТ Р 56719-2015. Газ горючий природный сжиженный. Отбор проб. – Введ. 01-01-2017. – М.: Стандартинформ, 2016.
11. СП 240.1311500.2015 Хранилища сжиженного природного газа. Требования пожарной безопасности. – Введ. 31-08-2015. – М.: Техэксперт, 2016.

УДК: 621.6: 621.6.035

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА ПРИ ПОИСКЕ ТВЕРДЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПАРАФИНА В НЕФТЕПРОВОДЕ

Мартьянов Денис Сергеевич,
группа ПМК-15,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра приборостроения

Аннотация. Проблема загрязнений нефтепроводов парафином актуальна сегодня, отложение парафина в нефтепроводе вызывает снижение пропускной способности и увеличивает убытки. Отложения парафина в подъемных трубах приводят к резкому уменьшению их поперечного сечения, в результате чего снижается дебит и уменьшается буферное давление, а затем закупориваются подъемные трубы, после чего прекращается фонтанирование. В работе рассматривается решение проблемы при помощи прибора резонансного акустического контроля.

Ключевые слова: нефтепроводы; отложение парафина; поиск парафина методами неразрушающего контроля

USING THE METHOD OF ACOUSTIC RESONANCE WHEN YOU SEARCH FOR SOLID DEPOSITS OF PARAFFIN IN THE PIPELINE

Martyanov Denis Sergeevich,
group PMK-15,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of instrumentation

Abstract. This problem is actual today, the deposition of paraffin in the pipeline causes a decrease in throughput and increases the loss. The deposition of paraffin in the lift pipe leads to a sharp decrease in their cross section, resulting in reduced production rate and decrease buffer pressure, and then lifting the pipe are plugged, and then stops flowing.

Keywords: oil pipelines; paraffin deposition; paraffin search by non-destructive testing methods

Нефти многих нефтяных месторождений парафинистые. В таких нефтях содержание парафинов (углеводородов от $C_{1в}H_{34}$ и выше) превышает 2%. В нормальных условиях парафины являются твердыми кристаллическими веществами, в пластах же они чаще всего растворены в нефти [1].

Подъем нефти от забоя скважины до устья и ее дальнейшее движение от скважины до газосепаратора сопровождается непрерывным изменением

температуры и давления. В результате этого нарушается равновесие в системе «нефть - растворенный газ - растворенный парафин». Нефть, постепенно теряющая газ, становится более тяжелой, вязкость ее увеличивается, а ее растворяющая способность по отношению к тяжелым углеводородам и различным примесям снижается, так как уменьшается содержание в ней жидких газов, имеющих лучшую растворяющую способность [8]. Одновременно снижается и температура нефти, что вызывается двумя причинами: 1) передачей: тепла от нефти в окружающие скважину горные породы и 2) охлаждением нефти вследствие выделения газа. Охлаждение нефти вследствие выделения газа при большом газовом факторе преобладает по сравнению с охлаждением за счет теплоотдачи в грунт. Процесс выпадения и отложения парафина непосредственно на стенках труб продолжается с различной интенсивностью на всем протяжении подъемных труб - от точки, где он начался, до устья скважины. Та же часть парафина, которая выпадает в потоке, поднимается по подъемным трубам в виде мелких кристалликов, взвешенных в нефти, и кристалликов, прилипших к оболочкам газовых пузырьков. По мере увеличения содержания этих кристалликов в нефти они могут прилипать к стенкам труб, увеличивая толщину отложений парафина.

Парафиновые отложения представляют собой темную массу от мазеобразной до твердой консистенции: они содержат, кроме парафина, значительное количество смол, масел, воды (в скважинах, дающих обводненную нефть) и минеральных частиц. Таким образом, нормальная эксплуатация фонтанных скважин, в которых добывается парафинистая нефть, невозможна без удаления отложений парафина со стенок труб или без принятия мер, предотвращающих выпадение парафина на стенках.

Для очистки подъемных труб от парафина можно применять тепловое воздействие или механическую очистку специальными скребками [2]. Это очень затратный метод (по времени и по материальным затратам). Значительно повысить эффективность этих работ, можно разработав метод точного поиска мест отложения парафинов.

Нами предлагается использовать для этих целей акустический вид неразрушающего контроля, в частности метод и прибор, основанный на анализе резонансных характеристик пьезопреобразователя, закрепляемого на различных участках наружной поверхности нефтепровода. Работа резонансных приборов основана на особенностях резонансных законов в линейных цепях. Обычно они используются для определения амплитуды и частоты одного гармонического колебания или для определения амплитуд и частот нескольких гармонических компонент, входящих в состав сложного колебания. В резонансных приборах толщина определяется путем измерения частот акустических резонансов в контролируемом изделии [3].

В процессе контроля резонатор прибора закрепляется непосредственно на участке трубопровода, в котором требуется определить обрастание парафином. Так как парафин и нефть обладают разной плотностью, резонансная частота преобразователя и его импеданс при наличии парафина

резко изменяется, что является информационным параметром, позволяющим судить о наличии парафина и величине его отложений.

Предлагаемый метод построен на возбуждении колебаний звукового сигнала, которые зависят от характеристик трубы, с дальнейшим анализом периода собственных колебаний трубопровода (T) и последующим расчетом резонансной частоты (ω) по формуле (1) [7]:

$$\omega=\frac{2\pi}{T}. \qquad (1)$$

Связь резонансной частоты колебаний толстой трубы с ее размерами для разных мод колебаний дается в формуле зависимости частоты собственных колебаний от жесткости [5]:

$$\omega=\omega_{к}=\frac{4K(K^2-1)}{\sqrt{K^2+1}}\sqrt{\frac{EI}{mD^4}}\ , \qquad (2)$$

где в формуле (2): E – модуль упругости; I – момент сопротивления поперечного сечения изгиба; m – масса участка трубы; D – диаметр кольца трубы; K – мода колебаний.

Момент сопротивления изгиба рассчитывается по формуле:

$$I=\frac{b\cdot h^3}{12}, \qquad (3)$$

где в формуле (3): b – ширина кольца трубы; h – толщина стенки трубы.

С учетом формулы определения зависимости частоты собственных колебаний от жесткости можно рассчитать модуль упругости (E) при наличии всех необходимых данных:

$$E=\frac{(\mathrm{K}^2+1)mD^4\,\omega_k^2}{16K^2(K^2-1)^2 I}, \qquad (4)$$

где в формуле (4) мода колебаний K может принимать значения от 2 до 5 (основные гармоники измерений).

Жесткость кольца трубы, приведенная к единице длины трубы, определяется по следующей формуле [5]:

$$SN=\frac{EI}{bD^3}. \qquad (5)$$

Подставляя в уравнение (5) выражения для модуля упругости и частоты колебаний, получаем формулу для расчета жесткости участка трубы[6]:

$$SN=\frac{\pi^2(\mathrm{K}^2+1)\,\mathrm{mD}}{4K^2(\mathrm{K}^2-1)\,\mathrm{bT}^2}. \qquad (6)$$

Зная все необходимые нам значения из уравнения (6), получаем окончательную формулу и находим необходимый параметр, изменяющий при появлении парафина на стенках трубопровода:

$$m = \frac{4K^2(\mathrm{K}^2-1)\,\mathrm{b}\mathrm{T}^2\,SN}{\pi^2(\mathrm{K}^2+1)\,\mathrm{D}},$$

$$m = \frac{4K^2(\mathrm{K}^2-1)\,\mathrm{b}(\frac{2\pi}{\omega})^2\,SN}{\pi^2(\mathrm{K}^2+1)\,\mathrm{D}}.$$

Контрольно-измерительная система (рис. 1) модель трубы для эксперимента 1, совмещенный преобразователь 2, модуля усиления сигнала с преобразователя 3, компьютер с программой 4, с помощью которого записываются, обрабатываются и выводятся на дисплей результаты измерений. Система осуществляет измерение звукового сигнала, возбуждаемого в трубе, и его запись на носители информации (flash-носитель) в графическом виде.

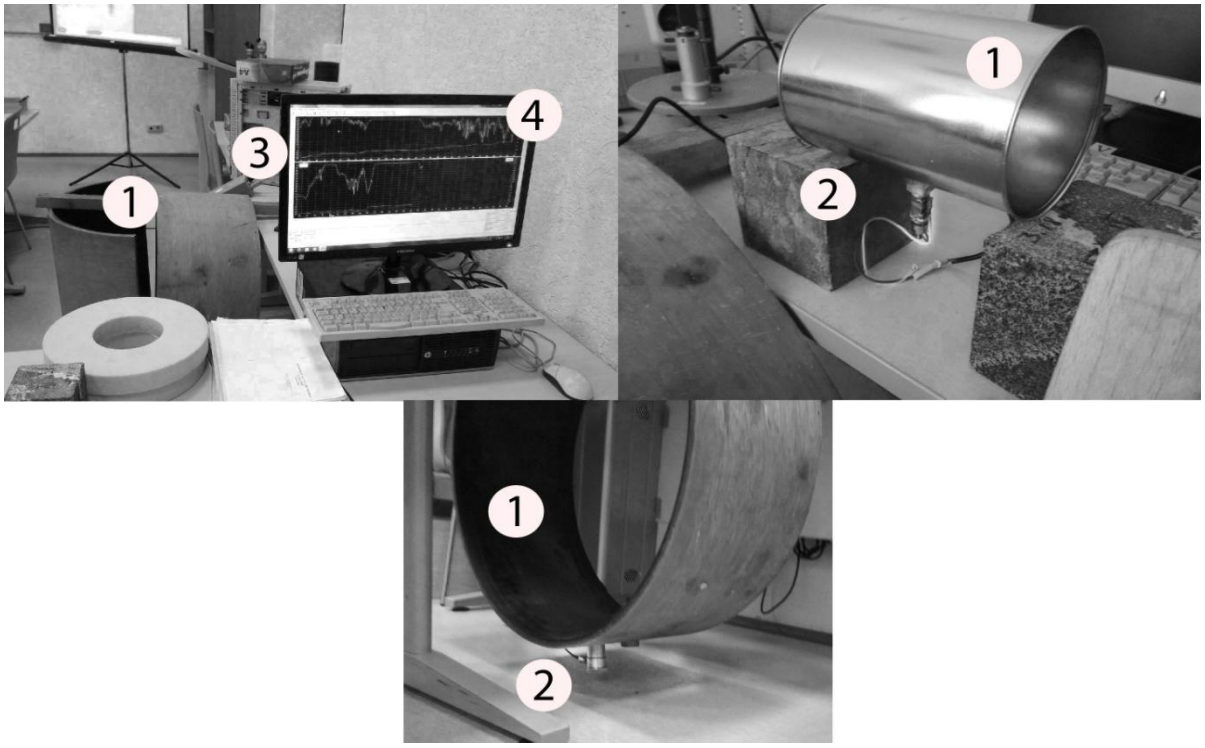


Рис. 1 - Внешний вид контрольно-измерительной системы:
1 – модель трубы для эксперимента; 2 – совмещенный преобразователь; 3 – модуль усиления сигнала с преобразователя; 4 – компьютер

Вывод: на основе проведенных исследований сделан вывод, что данный акустический метод неразрушающего контроля может использоваться в задачах по поиску отложений парафина на стенках нефтепровода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Рогачев М.К.* Борьба с осложнениями при добыче нефти / М.К. Рогачев, К.В. Стрижнев. - М.: Недра, 2006. - 57 с.
2. Основы нефтяного и газового дела: Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. / Н.Г. Середа, В.М. Муравьев. – М.: Недра, 1980. - 287 с.
3. Теория и практика ультразвукового контроля / И.Н. Ермолов. – М.: Машиностроение, 1981. - 240 с.
4. *Мурашов В.В.* Неразрушающий контроль заготовок и деталей из углерод-углеродного композиционного материала для многоразового космического корабля «Буран» / Труды ВИАМ, 2013, Т. 4, 05.
5. ГОСТ Р 54560–2011 Трубы и детали трубопроводов из реактопластов, армированных стекловолокном.
6. *Никитин Е.К.* Вычисление кольцевой жесткости колец из ПКМ методом акустического резонанса / Е.К. Никитин, О.Л. Бурхан // Труды ВИАМ, 2015, Т. 6, 06.
7. *Потапов А.И.* Неразрушающие методы и средства контроля толщины покрытий и изделий / А.И. Потапов, В.А. Сясько. – СПб.: Гуманистика, 2009. - 904 с.
8. *Алиев А.Г.* Борьба с парафиноотложениями при добыче, подготовке и транспорте газа и конденсата Карачаганакского газоконденсатного месторождения (КГКМ) // А.Г. Алиев, В.П. Кузнецова, А.И. Илясов, А.Н. Клюшин // ОИ. Сер. «Разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений», 1985, Т. 9, С. 45.

УДК 622.691.4.052

ПРОБЛЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДА СПГ В ТРУБОПРОВОДАХ

Матушов Семён Сергеевич,
группа ЭХТ-16-1,
Санкт-Петербургский горный
университет, Нефтегазовый факультет

Аннотация. Исследование производится с целью предложения инновационных методов и приборов определения расхода СПГ (сжиженного природного газа) в трубопроводах. Существующие системы не способны предоставлять удовлетворительные результаты без каких-либо недостатков. Произведен анализ существующих методик и технических средств. Осуществляются теоретические исследования и расчеты, компьютерное симулирование и постановка экспериментов на лабораторном оборудовании с учетом наиболее перспективных направлений. Предлагаемые исследования смогут повысить экономическую эффективность производства.

Ключевые слова: сжиженный природный газ (СПГ); двухфазные потоки; расход СПГ; расходомер

THE PROBLEM OF THE DETERMINATION OF THE LNG FLOW RATE IN PIPELINES

Matushov Semen Sergeevich,
group EHT-16-1,
Saint-Petersburg mining university, Oil and
gas faculty

Abstract. The research is being carried out in order to make proposals of innovative methods of LNG (liquefied natural gas) flow rate determination and new devices for its measuring in pipelines. Nowadays systems are not able to provide satisfactory results without any drawbacks. The analysis of existing methods and devices was carried out. Theoretical research and calculations in the aggregate with computer simulations and experimental study on laboratory equipment are being performed taking into account most perspective ideas. The proposed developments tend to raise the economical efficiency of the industry.

Keywords: liquefied natural gas (LNG); two-phase flow; LNG flow rate; flowmeter

От точного определения расхода энергоносителя в трубопроводах зависит экономическая эффективность производства. В случае с СПГ проблема не теряет своей актуальности. Все возрастающие объемы

производства СПГ придают еще большую важность точному измерению расхода СПГ.

При транспортировке СПГ по трубопроводам в них возникают перепады давления, в результате чего некоторая часть топлива может вскипать - образуется отпарной газ. В такой ситуации необходимо учитывать расход газовой фазы в составе общего расхода системы, что в недостаточной степени обеспечивают применяемые в настоящее время расходомеры СПГ [1].

Имеются сведения об эффективности современных расходомеров в отношении жидких азота, кислорода, диоксида углерода и т.п., чего нельзя сказать об их применимости либо конкретно к СПГ, либо вообще к двухфазным системам [2, 3].

Используемые в существующих расходомерах методики не позволяют точно учитывать влияние изменения схем течения систем на результаты измерений, являются дорогими или вообще оказывают пагубное влияние на здоровье людей, а результаты произведенных с их помощью измерений подвержены искажениям [4].

Однако существуют разработки, не имеющие приведенных недостатков. Одним из таких изобретений является объемный двухфазный расходомер газожидкостной смеси и разработанная для данного устройства система измерения многофазного потока. Изобретение предложено Китами Хирокадзу и Каваото Хираку из компании Овал Корпорейшн (Япония) в патентном документе RU 2507484 как система измерения расходов водогазонефтяных смесей.

Схема описываемого двухфазного расходомера представлена на рис. 1.

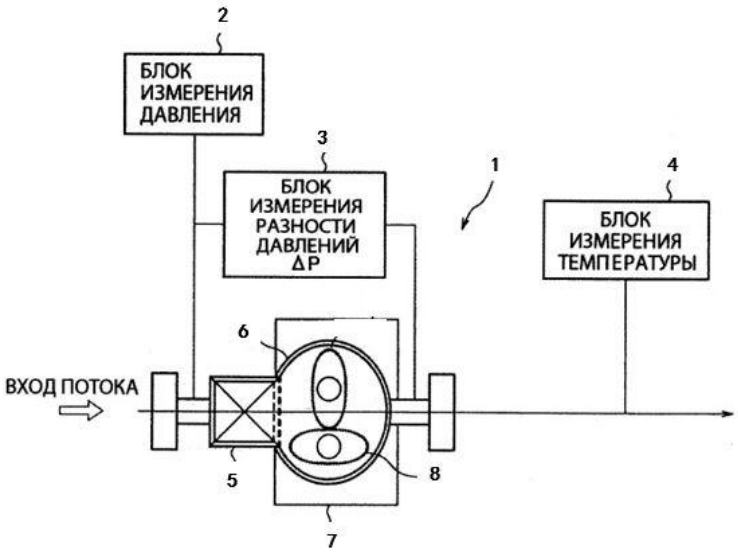


Рис. 1 – Блок-схема объемного газожидкостного двухфазного расходомера

Расходомер 1 состоит из блока измерения давления 2 на входе в газожидкостную смесительную камеру 5, смешивающую между собой жидкость и газ в газожидкостном двухфазном потоке и создающую постоянную схему течения внутри расходомера, удобную для проведения

измерений, блока измерения разности давлений 3 между точками непосредственно до смесительной камеры и после измерительной камеры 7, блока 4 измерения температуры и пары роторов 8, расположенных внутри корпуса расходомера 6.

Измерения основаны на системе из двух уравнений, выражающих зависимости общего расхода смеси от угловой скорости вращения роторов ω и газовой доли β (уравнение 1), а также величины потери давления ΔP_M смеси при прохождении через измерительную систему от величины расхода смеси и газовой доли (уравнение 2):

$$Q_M = M_f \cdot \frac{\omega}{\varepsilon}, \qquad (1)$$

$$\Delta P_M = \frac{1}{2} C \rho_L (1-\beta)^{2-z} \left[\frac{Q_M}{A} \right]^2, \qquad (2)$$

где: M_f - объем жидкости, проходящий через расходомер за один оборот ротора в случае однофазного жидкостного потока, л,
ε – так называемый коэффициент вращения, ε = f(β),
C - коэффициент профильного сопротивления смесительной и измерительной камер совместно,
ρ_L - плотность жидкости, кг/м^3,
z - коэффициент увеличения разности давлений. Заранее определен экспериментально,
A - площадь поперечного сечения потока на входе в смесительную камеру, м^2.

Расходы жидкой и газовой фаз Q_L и Q_G находят из соотношений (3) и (4):

$$Q_L = Q_M \cdot (1-\beta), \qquad (3)$$

$$Q_G = Q_M \cdot \beta. \qquad (4)$$

Описанный расходомер продемонстрировал высокую точность измерений двухфазных газонефтяных потоков по сравнению с точностью общедоступных в продаже расходомеров [4].

В нашей работе предлагается взять за основу описанные техническое средство и методику расчета для проведения исследований по определению расхода двухфазного потока СПГ в трубопроводах.

На текущем этапе исследования изучается возможность проведения измерений лазерным допплеровским расходомером. Допплеровский расходомер измеряет разность частот, появляющуюся при отражении светового луча движущимися частицами потока. Это явление описывается следующей зависимостью:

$$\lambda = 2\pi \frac{(c - v)}{\omega_0}, \qquad (5)$$

где ω_0 – угловая частота волн источника.

Таким образом можно определить скорость течения флюида.

Принципиальная схема допплеровского расходомера представлена на рис. 2.

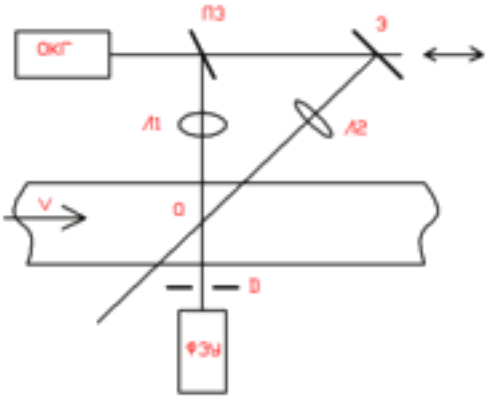


Рис. 2 – Схема лазерного допплеровского расходомера

Световое излучение, система линз и зеркал позволяют определять скорость потока на основании эффекта Допплера.

На текущем этапе исследования изучается возможность использования оптических, в том числе допплеровского, расходомеров для определения расхода СПГ в трубопроводах. В результате работы будет предложена новая методика измерения расхода СПГ.

Усовершенствование технических средств и методик определения расхода СПГ при его течении в трубопроводах повысит экономическую эффективность производств и устранит множество допущений и неточностей в существующих технологиях измерения параметров потоков.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Соловьев В.Г.* Метрологическое обеспечение измерений расхода сжиженных газов / В.Г. Соловьев, Г.И. Реут, В.И. Реут и др. // Вестник Казанского технологического университета, 2013, Т. 6, С. 147-150.

2. Расходомеры: Krohne Group - производитель измерительного оборудования.
https://ru.krohne.com/ru/pribory/.

3. Flow Instruments: Flow - a Chart Industries Company.
http://www.chartindustries.com/Businesses/Flow-Instruments.

4. Пат. 2507484 Российская Федерация, МПК G01F 1/74. Объемный двухфазный расходомер газожидкостной смеси и система измерения расхода многофазного потока / Х. Китами [H. Kitami], Х. Каваото [H. Kavaoto]; Заявитель и патентообладатель Овал Корпорейшн (Япония); заявл. 16.06.10; опубл. 20.02.14.

5. *Кремлевский П.П.* Расходомеры и счетчики количества веществ: Справочник: Кн. 2 / Под общ. ред. Е.А. Шорникова. - 5-е изд., перераб. и доп. - СПб.: Политехника, 2004. - 412 с.

УДК 621.9.0148

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ЛОКАЛЬНОГО ТЕРМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ЗАГОТОВОК

Минин Александр Олегович,
группа ТОА-15,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. В статье рассмотрен метод предварительного локального воздействия на материал заготовки. Данный метод позволяет повысить динамическую стабильность технологической системы. Вследствие чего повышается точность размеров и улучшается шероховатость поверхности заготовки.

Ключевые слова: локальное воздействие; технологические системы; динамическая устойчивость; напряженно-деформированное состояние; квазиупругие параметры; диссипативные параметры

APPLICATION OF THE METHOD OF PRELIMINARY LOCAL THERMAL INFLUENCE IN THE PROCESSING OF THE WORKPIECES

Minin Alexander Olegovich,
group TOA-15,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. The article considers the method of preliminary local influence on the workpiece material. This method allows increasing the dynamic stability of the technological system. As a result, the dimensional accuracy is increased and the roughness of the workpiece surface is improved.

Keywords: local impact; technological systems; dynamic stability; stress-strain state; quasi-elastic parameters; dissipative parameters

Сегодня повышение качества и точности изготовления прецизионных поверхностей деталей машин является актуальной задачей. Качество поверхности детали (заготовки) можно определитькак состояние ее поверхностного слояв результате воздействия на него одного или нескольких, последовательно применяемых, технологических методов обработки [1, 2]. Оно характеризуется шероховатостью, физико-механическими свойствами поверхностного слоя, а также волнистостью [1, 2, 3].

Процесс резания (стружкообразования) остается одним из сложных физических процессов, результатом которого является возникновение упругих и пластических деформаций в поверхностном слое заготовки [4, 5, 6]. При этом вследствие разрушения материала заготовки и трения процесс сопровождается тепловыделением, наростообразованием, износом режущего инструмента и наклепом что приводит к возникновению остаточных напряжений в поверхностном слое заготовки [5, 7].

С технологической точки зрения в процессе обработки предпочтительно иметь сливную стружку [8, 9]. Такой процесс является показателем устойчивости технологической системы, требует наименьших затрат энергии, обеспечивает гарантированную стойкость инструмента и заданные параметры шероховатости обработанной поверхности заготовки [8, 9].

Однако не стоит исключать тот факт, что при работе в автоматизированном цикле, сливная стружка может затруднять перемещения рабочих органов стака, наматыватся на обрабатываемую заготовку и инструмент [10]. Это приводит к повреждениям как обработанной поверхности заготовки, так и режущей кромки резца. Таким образом, формирование отрезков стружки заданной длины необходимо считать одной из важнейших задач в области лезвийной обработки [4, 10, 11].

Как уже было отмечено рание динамическая устойчивость технологической системы обечпечивает заданные параметры качества поверхности изделий [4, 7, 11].

Возможность возникновения вибраций в системе «станок – приспособление – инструмент – деталь» зависит от ряда факторов: режимы и вид обработки, прочностные и пластичные характеристики обрабатываемого материала, жесткость и демпфирующая способности элементов системы и многи другие. Собственные колебания в технологической системе «Обработка», вызванные случайными возмущениями, например: отталкивание режущего инструмента или его врезание, неоднородность обрабатываемого материала, неравномерностью припуска, биение инструмента или заготовки. Все это приводит к ухудшению шероховатости и точности обработанной поверхности [4, 12, 13].

При этом колебания упругой системы сопровождаются изменением площади сечения среза и скорости резания [4, 8]. В результате изменяется сила резания и ее составляющие. В том случае если с повышением скорости уменьшается радиальная составляющая силы резания или изменение силы резания отстает во времени относительно изменения толщины среза, то собственные затухающие колебания могут перерасти в незатухающие автоколебания, где энергию, необходимую для поддержания колебаний, создает сама переменная сила резания [4, 5, 8, 9].

Наиболее перспективным методом борьбы со сливной стружкой, образуемой при обработке сталей является метод предварительного локального термического воздействия (ЛТВ) на обрабатываемую поверхность заготовки [4, 5, 6, 7, 8, 9].

Сущность метода предварительного локального термического воздействия можно представить как преобразование механических свойств и микроструктуры обрабатываемого материала в локальной зоне под влиянием высоких температур [4, 5, 6, 8, 11]. Главная особенность процесса точения заготовок, подвергнутому такому воздействию, заключается в эпизодическом изменении условий резания. Пребывание зоны локального воздействия в метастабильном состоянии в сравнении с основным металлом в процессе обработки приводит к мгновенному изменению напряженно-деформированного состояния в зоне стружкообразования [4, 5, 6, 11]. При этом происходит изменение угла сдвига срезаемого слоя материала и, как следствие, слом сливной стружки.

Подвергая обрабатываемый материал предварительному локальному термическому воздействию, а затем, осуществляя срезание этого поверхностного слоя, нужно обеспечить условия стабильности технологической системы [9, 12, 13, 14].

В рамках теоретических и экспериментальных исследований поведения технологической системы при лезвийной обработке заготовок с локальным термическим воздействием было доказано ее устойчивое поведение [9, 12, 13]. Что объясняется асинхронному воздействию переменных составляющих квазиупругих и диссипативных параметров зоны термического воздействия. Это обусловлено различием структуры и механических свойств в основном металле и в локальной зоне. Устойчивость технологической системы наблюдается при обработке обширного класса материалов, обладающих полиморфизмом [9, 12, 13, 14, 15].

Особенность обработки заготовки, подвергнутой предварительному локальному термическому воздействию, заключается в необходимости обеспечения большей глубины резания, чем глубина самого локального воздействия, поскольку несоблюдение этого условия приведет к двум нежелательным последствиям [4, 5, 6, 8]. Во-первых, обработанная поверхность будет иметь остаточные локальные зоны с другими физико-механическими свойствами, нежели материал заготовки, что отрицательно скажется на эксплуатационных свойствах детали. Во-вторых, при обработке резко снизится период стойкости резца, поскольку его вершина будет подвержена периодическим ударам. С другой стороны, значительное превышение глубины резания относительно глубины локального термического воздействия не даст ожидаемого эффекта сегментации стружки [4].

Вывод.

Предварительное локальное термическое воздействие на обрабатываемый материал заготовки позволяет решить следующие технологические задачи:

- повысить динамическую стабильность обработки;
- обеспечить устойчивый процесс сегментации срезаемого слоя материала.
- повысить точность и производительность механической обработки;

- улучшить шероховатость обработанной поверхности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Максаров В.В.* Технологическое обеспечение шероховатости поверхностного слоя на основе моделирования переходных процессов./ В.В. Максаров, Р.В. Вьюшин, А.Е. Ефимов // Металлообработка, 2017, Т. 2 (98), С. 39-45.
2. *Максаров В.В.* Влияние структурных параметров режущей керамики на работоспособность инструмента при обработке прецизионных поверхностей деталей горных машин / В.В Максаров, А.Д. Халимоненко // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2017, Т. 8, С. 56-64.
3. *Халимоненко А.Д.* Точность обработки при точении заготовок режущим инструментом, оснащенным сменными керамическими пластинами / А.Д. Халимоненко, Р.В. Вьюшин // Записки Горного института, 2014, Т. 209, С. 99-103.
4. *Тимофеев Д.Ю.* Повышение точности изготовления прецизионных поверхностей детали шток гидроцилиндров / Д.Ю. Тимофеев, А.Е. Ефимов // Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, С. 142-145.
5. *Timofeev D.Y.* Improving the quality of manufacturing parts from titanium alloys using the method of preliminary local plastic deformation / D.Y. Timofeev, E.V. Kosheleva // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 87(8), С. 82048.
6. *Тимофеев Д.Ю.* Повышение качества изготовления деталей из титановых сплавов с применением метода предварительного локального пластического деформирования / Д.Ю. Тимофеев, Е.В. Кошелева // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME-2017. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, 2017, Т. 1, С. 302-305.
7. *Максаров В.В.* Повышение эффективности технологического процесса изготовления гидроцилиндров горного оборудования с применением предварительного локального термического воздействия / В.В. Максаров, Д.Ю. Тимофеев, А.Е. Ефимов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2016, Т. 9, С. 65-73.
8. *Тимофеев Д.Ю.* Управление процессом сегментации стружки при локальном термическом воздействии / Д.Ю. Тимофеев, А.Д. Халимоненко // Инновационные системы планирования и управления на транспорте и в машиностроении. Том II. Под ред. И.Е. Пряхина, 2014, С. 80-81.
9. *Максаров В.В*. Обеспечение динамической стабилизации процесса резания труднообрабатываемых материалов на основе предварительной локальной метастабильности / В.В. Максаров, Ю. Ольт, А.Е. Ефимов // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева, 2017, Т. 1(40), С. 263-268.

10. *Бевза В.Ф.* Совершенствование структуры и свойств заготовок деталей горного и нефтеперерабатывающего машиностроения из чугуна «нирезист» / В.Ф. Бевза, В.П. Груша, В.А. Красный // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2018, Т. 2, С. 156-167.
11. *Тимофеев Д.Ю.* Физические аспекты точения при локальном термическом воздействии / Записки Горного института, 2014, Т. 209, С. 91-95.
12. *Максаров В.В*. Моделирование динамических процессов механической обработки в среде NI LABVIEW для совершенствования технологии изготовления деталей горных машин / В.В. Максаров, А.Е. Ефимов, Д.А. Осминко // Металлообработка, 2018, Т. 1(103), С. 6-13.
13. *Efimov A.E.* Modeling dynamic processes at stage of formation of parts previously subjected to high-energy laser effects / A.E. Efimov, V.V. Maksarov, D.Y. Timofeev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 022026.
14. *Ershov D.Y.* Dynamic processes in technological systems of machining and the nature of their origin / D.Y. Ershov, E.G. Zlotnikov, L.E. Koboyankwe // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 87 (8), C. 82016.
15. *Марукович Е.И.* Повышение эксплуатационных свойств ответственных деталей горных машин из легированных чугунов / В.Ф. Бевза, В.П. Груша, В.А. Красный // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2016, Т. 10, С. 48-60.

УДК 621.9.08

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ГОРНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Мишин Вячеслав Витальевич,
группа ТОА-16,
Санкт-петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. В представленной статье рассматриваются способы автоматизации контроля сложнопрофильных поверхностей изделий горного машиностроения. На данный момент существуют активные и пассивны способы контроля в автоматизированном производстве. Эти способы позволяют с высокой точностью передавать информацию о макро- и микрогеометрических параметрах сложнопрофильного изделия. Также для контроля поверхности широко распространена рентгеноскопия, позволяющая на стадии изготовления сложнопрофильного изделия выявить внутренние дефекты. Совокупность приведённых средств автоматизированного контроля позволяет увеличить надежность и долговечность работы изделия в процессе эксплуатации.

Ключевые слова: автоматизация; сложнопрофильные изделия; машиностроение; макро- и микрогеометрические параметры

AUTOMATION OF CONTROL OF COMPLEX-PROFILE PRODUCTS OF MINING MECHANICAL ENGINEERING

Mishin Vyacheslav Vitalyevich,
group TOA-16,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. This article discusses how to automate the control of complex profiles of mining mechanical engineering products. At the moment there are active and passive methods of control in automated production. these methods allow with high accuracy to transmit information about the macro- and microgeometric parameters of a complex-profile product. Also, for the control of the surface, radioscopy is widely used, which makes it possible to reveal internal defects at the stage of manufacturing a complex product. The combination of the above automated control tools allows to increase the reliability and durability of the product during operation.

Keywords: automation; products with a complex profile; mechanical engineering; macro- and microgeometric parameters

В современном горном машиностроении широко распространены прецизионные изделия со сложнопрофильными поверхностями [11, 13]. К таким изделиям со сложным геометрическим профилем стоит отнести: посадочные места под подшипники; цилиндры двигателей внутреннего сгорания; зубчатые колёса различного профиля и т.д. [2, 4]. От качества контроля в отклонении их формы, по макро- и микрогеометрическим параметрам, а также внутренних дефектов зависят эксплуатационные свойства изделия в целом [15]. В настоящий момент, измерение сложнопрофильных поверхностей изделий осуществляется с использованием средств автоматизированного контроля, так как такие технологии позволяют наряду с повышением производительности, устранить погрешности, что повышает точность контроля и качество выпускаемой продукции [1, 3, 14].

На сегодняшний день существует целый ряд способов контроля сложнопрофильных поверхностей в горном машиностроении. Прежде всего, их стоит подразделить на две группы – это активные и пассивные способы.

Наибольшее распространение получил способ активного контроля на станках с ЧПУ (рис. 1). Активный автоматический контроль на станках с ЧПУ при помощи контактных датчиков позволяет контролировать размеры обрабатываемых изделий с целью обеспечения заданного допуска, предупреждения и исключения брака [5, 9]. Применение приборов активного контроля позволяет повысить качество изделия любой геометрической конфигурации.

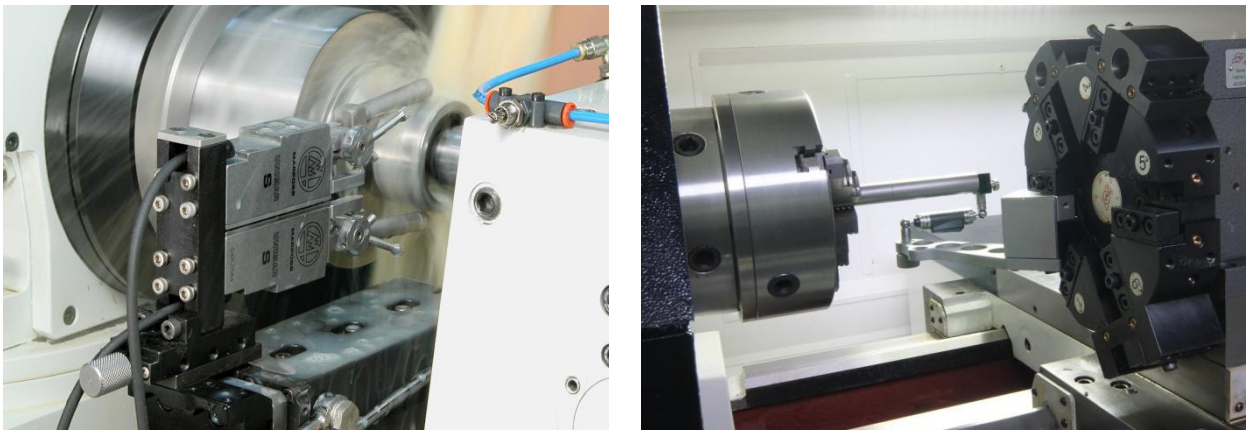


Рис. 1 – Приборы активного автоматического контроля на станках с ЧПУ

В свою очередь пассивный способ контроля можно разделить на контактный и бесконтактный [7]. Для считывания информации о геометрии исследуемого изделия на автоматизированных участках используются координатно-измерительные машины (КИМ) (рис. 2, а), в которых задействованы трехкоординатные измерительные головки (щупы) (рис. 2, б).

Измерительная головка со сферическим щупом позволяет контролировать методом касания линейные размеры, форму и взаимное расположение плоскостей заготовки с точностью ± 5 мкм. Недостаток такой системы контроля является высокая погрешность, обуславливаемая разностью в силе касания.

а)

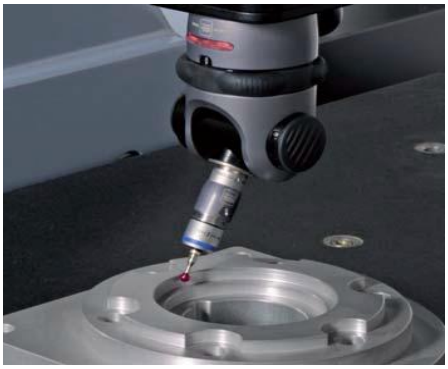
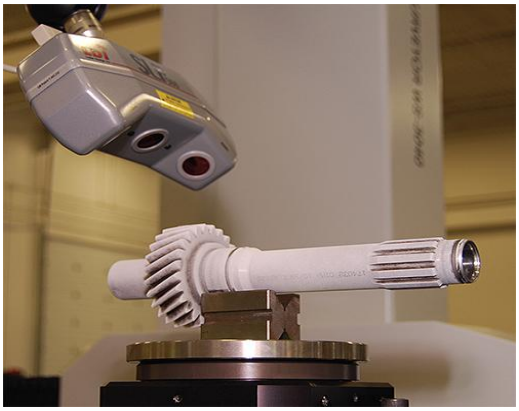
б) 

Рис. 2 - Координатно-измерительная машина (а) и трехкоординатная измерительная головка (б)

Альтернативным решением является бесконтактный способ, принцип действия которого основано на лазерном 3D-сканировании (рис. 3) [6, 12]. В отличие от контактных приборов КИМ, на измеряемой поверхности генерируется множество точек с высокой плотностью (порядка 900 точек в линии, с частотой измерения до 40 Гц или 36000 точек в секунду). Это дает значительно больше информации об изделии и обеспечивает высокую точность измерения.



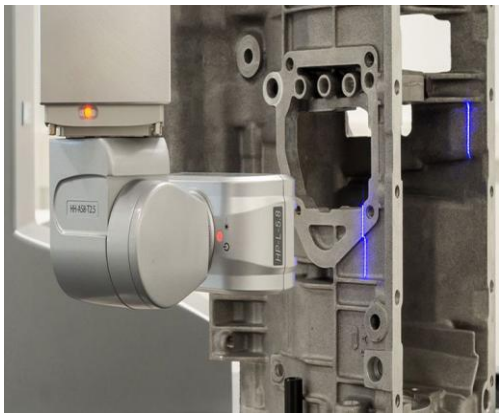


Рис. 3 – Лазерное 3D - сканирование сложнопрофельных изделий

Помимо макро- и микрогеометрического контроля сложнопрофильных поверхностей, на современном автоматизированном производстве для обнаружения внутренних дефектов изделия применяют способ рентгеноскопии (рис. 4).

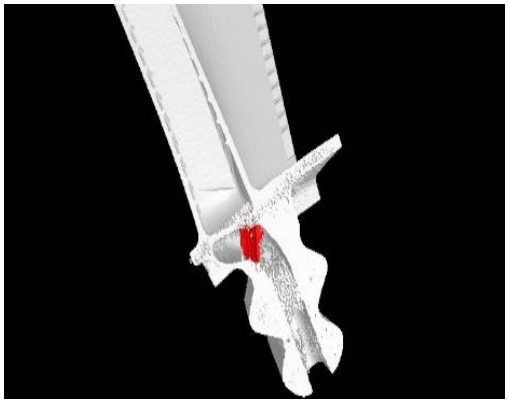


Рис. 4 – Дефект в лопатке турбины

Способ томографии позволяет на стадии изготовления прецизионных изделий в короткий срок не только определить наличие потенциального внутреннего дефекта, но и идентифицировать его местоположение, что позволит предотвратить преждевременный выход из строя изделия в процессе эксплуатации.

Подводя итоги можно сказать, что использование высокоточных средств автоматизированного контроля может повысить не только качество изготовления сложнопрофильных изделий [8, 10, 16] за счёт увеличения точности измерения форм и размеров в сфере горного машиностроения, но и значительно сократить время на проведения такого рода операций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Maksarov V.V.* The formation of surface roughness of piston rings for the purpose of improving the adhesion of wear-resistant coatings / V.V. Maksarov, V.A. Krasnyy, R.V. Viushin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 022047.
2. *Maksarov V.V.* The formation of surface roughness of piston rings for the purpose of improving the adhesion of wear-resistant coatings / V.V. Maksarov, V.A. Krasnyi // Key Engineering Materials, 2017, Vol. 736, C. 73-78.
3. *Maksarov V.V.* Technological Quality Assurance of Hydraulic Cylinder Stock Manufacturing Based on High-Energy Impact on Product Surface / V.V. Maksarov, A.E. Efimov, A.I. Keksin // Advances in Engineering Research, 2018, Vol. 177(1), C. 321-327.
4. *Maksarov V.V.* Technology of magnetic-abrasive finishing of geometrically-complex products / V.V. Maksarov, A.I. Keksin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, Vol. 327 (4), 42068.
5. *Maksarov V.V.* Simulation modeling of dynamic characteristics of machining in NI LabView software environment to improve processing technique of a rod component / V.V. Maksarov, A.E. Efimov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 194(2), 22021.
6. *Efimov A.E.* Modeling dynamic processes at stage of formation of parts previously subjected to high-energy laser effects / A.E. Efimov, V.V. Maksarov, D.Y. Timofeev // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2018, Vol. 327(1), 22026.
7. *Zlotnikov E.G.* Modeling and calculation of load on cutting inserts of disk milling cutters in software environment of Autodesk Inventor / E.G. Zlotnikov, A.D. Khalimonenko, D.Y. Kazakov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 194, 22048.
8. *Khalimonenko A.D.* Method of Calculating Intermediate Diametral Sizes and Allowances for Designing Technology of Manufacture of Details / A.D. Khalimonenko, D.Y. Timofeev, K.P. Pompeev // AER-Advances in Engineering Research, 2017, Vol. 133(1), C. 312-317.
9. *Timofeev D.Y.* Improving the quality of manufacturing parts from titanium alloys using the method of preliminary local plastic deformation / D.Y. Timofeev, E.V. Kosheleva // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, 082048.
10. *Максаров В.В.* Технологическое обеспечение шероховатости поверхностного слоя на основе моделирования переходных процессов / В.В. Максаров, Р.В. Вьюшин, А.Е. Ефимов // Металлообработка, 2017, Т. 2, С.

39–45.
11. *Максаров В.В*. Технологическое повышение качества сложнопрофильных поверхностей методом магнитно-абразивного полирования / В.В. Максаров, А.И. Кексин // Металлообработка, 2017, Т. 1(97), С. 47–57.
12. *Максаров В.В*. Обеспечение динамической стабилизации процесса резания труднообрабатываемых материалов на основе предварительной локальной метастабильности / В.В. Максаров, Ю.Ольт, А.Е. Ефимов // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева, 2017, Т. 1(40), С. 263-268.
13. *Тимофеев Д.Ю.* Повышение точности изготовления прецизионных поверхностей детали шток гидроцилиндров / Д.Ю. Тимофеев, А.Е. Ефимов // Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции. 2016. С. 142-145.
14. *Тимофеев Д.Ю*. Повышение качества изготовления деталей из титановых сплавов с применением метода предварительного локального пластического деформирования / Д.Ю. Тимофеев, Е.В. Кошелева // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME-2017. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, 2017. Т. 1, С. 302-305.
15. *Эльясберг М.Е*. Автоколебания металлорежущих станков / М.Е. Эльясберг // Теория и практика. – СПб.: Изд. ОКБС, 1993. - 180 с.
16. *Максаров В.В.* Влияние структурных параметров режущей керамики на работоспособность инструмента при обработке прецизионных поверхностей деталей горных машин / В.В. Максаров, А.Д. Халимоненко // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2017, Т. 8 (1), С 56-64.

УДК 550.380,8.056; 53.091,098

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТКЛИКА ДЕФЕКТА В СТРУКТУРЕ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Мовчан Игорь Борисович,
канд. геол.-минерал. наук, доцент,
Яковлева Александра Анатольевна,
канд. физ.-мат. наук, доцент,
Филина Татьяна Владимировна,
группа РФ-16,
Михеев Артем Алексеевич,
группа РФ-15,
Санкт-Петербургский горный университет

Аннотация. Дефект трубопровода представляется как отклонение готового металлоизделия от качества, предусмотренного техническими стандартами, включающее полное или частичное нарушение совокупности свойств данного вида изделия, в том числе, его химического состава, структуры и сплошности. В такое определение укладываются нарушения типа коррозионного дефекта, трещиноподобного коррозионно-механического дефекта. Явление коррозии понимаем как разрушение металлов и их сплавов благодаря электрохимическому или химическому их взаимодействию с внешней агрессивной средой. При дистанционной оценке дефект представляется как утонение стенки трубы определенного генезиса, в котором интересуют макроскопический вынос материала из стенки трубы, сопутствующий коррозии, а также разрядка напряжений в стенке трубы, сопровождающая трещинообразование.

Ключевые слова: коррозионный дефект; неразрушающий магнитометрических контроль; решение обратной задачи; количественная интерпретация; магнитометр-градиентометр

SIMULATION OF DEFECT RESPONSE IN THE STRUCTURE OF EXTERNAL MAGNETIC FIELD WITH NON-DESTRUCTIVE TESTING OF MAIN PIPELINES

Movchan Igor Borisovich,
PhD, associate Professor,
Yakovleva Alexandra Anatolievna,
PhD, associate Professor,
Filina Tatyana Vladimirovna,
group RF-16,
Mikheev Artem Alexeevich,
group RF-15,
Saint-Petersburg mining university

Abstract. Pipeline defect is presented as deviation of finished metal product from the quality level which is defined by technical standards, including complete or partial violation of combination of properties of product of such kind (its chemical composition, structure and continuousness etc.). Such definition is suitable for corrosion defect and the defect of crack-and-corrosion kind. The phenomenon of corrosion issupposed to be the destruction of metals and their alloys due to their electrochemical or chemical interaction with external corrosive environent. From the point of view of contactless control, the defect is represented as thinning of pipe wall of certain genesis which is described by macroscopic transport of material from pipe wall and stress unloading in pipe wall with crack formation as well.

Keywords: corrosion defect; non-destructive magnetometric control; solution of inverse problem; quantitative interpretation; magnetometer-gradiometer

Магнитометрический контроль состояния трубопроводов имеет более чем пятнадцатилетнюю историю [1, 2, 3]. После прокладки трубопровода первые три-пять лет его функционирования можно охарактеризовать как безаварийные, что определяется строгим следованием стандартам. С точки зрения общефизического описания можно выделить два ключевых фактора нарушения трубопроводов: их взаимодействие с окружающим ландшафтом и влияние неоднородности материала труб и их сварных соединений. Ключевым в обоих факторах полагают рост усталостных нагрузок за счет перманентного воздействия широкополосных вибрационных полей на тело трубопровода и резонансных эффектов [4, 5]. Учет усталостных нагрузок определяет доминирующую роль упруго-пластического фактора и связанной с ним магнитоупругости в состоянии трубопроводов. Магнитоупругие эффекты [6] зафиксированы на уровне эмпирических обобщений: цикличность изменения остаточной намагниченности при периодическом приложении внешней нагрузки, связь внешней нагрузки с величиной коэрцитивной силы и с магнитной анизотропией материала и т.д. Крайними

полюсами подобного рода обобщений можно назвать результаты исследования эффекта Баркгаузена и магнитостатические аппроксимации.

Упруго-пластические состояния образцов [7] могут исследоваться с позиции магнитной памяти сплавов, состоящей в функциональной связи процессов взаимодействия краевых и винтовых дислокаций друг с другом и свнешними нагрузками, с одной стороны, и физикой магнитных явлений, с другой. В зонах значительных усталостных деформаций проводящих образцов наблюдается относительно высокая намагниченность - магнитоупругий эффект или магнитострикция. Поскольку эти эффекты не объясняют наличия макроскопического магнитного отклика детерминированной морфологии от участков намагниченного образца с аномально напряженным состоянием, то прибегаем к эмпирическому обобщению взаимосвязи величины характеристических параметров поля нагрузок с собственным магнитным откликом дефектного образца [8]. Так для участка изделия с нулевыми напряжениями вдоль продольной его оси определяем пересчетный коэффициент вида:

$$K = \frac{PD}{(B_2 - B_0)\cdot 2h},$$

где P – давление в изделии, D - наружный диаметр изделия, h - толщина стенки трубы, B_2 - средняя амплитуда магнитного шума, создаваемого при перемагничивании металла изделия поперек его продольной оси, B_0 – условно нулевое значение параметра магнитного шума при выбранном режиме работы.

Абсолютное значение механического напряжения в изделии определяют из соотношения:

$$\sigma = K(B_u - B_0),$$

где B_u - средняя амплитуда магнитного шума в металле изделия в месте замера. В части оценки влияния на отклик во внешнем магнитном поле геометрии дефекта допустимы магнитостатические аппроксимации [9, 10, 11].

Тогда дефект в форме приповерхностной трещины шириной $2b$ и глубиной h аппроксимируется линейным диполем, для которого справедливо:

$$H_z = \frac{\sigma}{4\pi}\cdot\ln\left|\frac{\left((x+b)^2+(z+h)^2\right)\left((x-b)^2+z^2\right)}{\left((x+b)^2+z^2\right)\left((x-b)^2+(z+h)^2\right)}\right|,\ \sigma = \frac{\mu-1}{\mu+1}(H_n + H_{nb}).$$

Здесь H_n - нормальная составляющая намагничивающего поля, H_{nb} - нормальная составляющая поля всех поверхностных зарядов, μ – магнитная

проницаемость. В развиваемом нами подходе присутствует попытка выяснить, значимость коррозионного генезиса дефектов [12]. Рассмотрено магнитное поле участка трубы толщиной 110 мм, материал вмещающей среды - кварцевый песок, материал трубы - сталь СТ3 [13], дефект – локальное утонение стенки трубы, амплитуда внешнего магнитного поля для высоких широт задавась 0,4 э = 31,8 А/м. Основные уравнения в расчете [14]:

$$\vec{H} = \vec{B}/\mu\mu_0\,,\ \vec{B} = \mathrm{rot}(\vec{A})\,,\ \vec{J} = -\vec{\nabla}\left(\mu^{-1}\right)\cdot\vec{\nabla}\left(\vec{A}\right),$$

где $\vec{A}$- магнитный векторный потенциал, $\vec{J}$ - плотность тока. С учетом явления макроскопического выноса проводящего вещества из области дефекта, его участок определяется как область с ненулевым малым током.

Учтено несколько типов взаимосвязи магнитной индукции $\vec{B}$ с напряженностью магнитного поля $\vec{H}$:

$$\vec{B} = \mu_r\mu_0\vec{H}\,,\ \vec{B} = \mu_0\vec{H} + \mu_0\vec{M}\,,\ \vec{B} = \mu_0\mu_r\vec{H} + \vec{B}_r\,,\ \vec{B} = f\left(\vec{H}\right)\vec{e}_H\,,\ \vec{B} = f\left(\vec{H}\right),$$

где μ_r - относительная магнитная проницаемость, $\vec{M}$ - вектор намагниченности, $\vec{B}_r$ - вектор остаточной магнитной индукции, $f\left(\vec{H}\right)$ - эмпирическая функция от вектора напряженности, $\vec{e}_H$ - единичный вектор в направлении вектора напряженности магнитного поля.

Решаемое дифференциальное уравнение имеет вид:

$$-\vec{\nabla}\left(\mu_r\mu_0\vec{\nabla}\varphi\right) = -\mathrm{div}\left(\mu_r\mu_0\,\mathrm{grad}\left(\varphi\right)\right) = 0\,.$$

Результат показывает, что наибольшее искажение поле испытывает вблизи собственно участка стенки с дефектом и по морфологии его магнитный отклик подобен отклику от квадруполя и диполя [15]. Фактически обусловленная дефектом локальная магнитная аномалия фиксируется на расстоянии 1.5…3 метра преимущественно в окрестности сварных швов и также подобна отклику диполя, обусловленного формированием на нарушенной поверхности трубы катод-анодной пары.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Крапивский Е.И.* Дистанционная магнитометрия газонефтепроводов / Е.И. Крапивский, В.О. Некучаев. - Ухта: УГТУ, 2011. - 142 с.
2. *Крапивский Е.И.* Внутритрубная диагностика технического состояния нефтегазопроводов. - СПб.: Инфо-да, 2015. - 255 с.
3. *Любчик А.Н.* Повышение эффективности магнитометрического метода дистанционного контроля технического состояния подземных магистральных трубопроводов. – СПб., 2014. - 151 с.
4. *Дубов А.А.* Контроль напряженно-деформированного состояния газопроводов при оценке их ресурса / Газовая промышленность, 2011, Т. 4, С.

41-43.
5. *Дубов А.А.* Контроль за напряженно-деформированным состоянием газопроводов с использованием различных методов / Безопасность труда в промышленности, 2002, Т. 2, С. 9-13.
6. *Александров Ю.В.* Ресурсные испытания металла длительно эксплуатируемых трубопроводов. - СПб.: Недра, 2011. - 304 с.
7. *Крапивский Е.И.* Исследование влияния напряженных состояний на индуцированное магнитное поле трубопровода / ГИАБ, 2015, Т. 11, С. 300-304.
8. *Гуськов С.С.* Методы обработки результатов дистанционного магнитометрического обследования подземных трубопроводов. - Нижний Новгород, 2014. - 178 с.
9. *Lubchik A.N.* The forecast of technical condition of main pipeline based on the analysis of emergency condition / A.N. Lubchik, E.I. Krapivsky, O.M. Bolshunova // The notes of mining institute, 2011, Vol. 192, C. 153-156.
10. *Григорашвили Ю.Е.* Использование технологии магнитной локации при определении коррозионной защищенности магистральных трубопроводов / Трубопроводный транспорт: теория и практика, 2009, Т. 4, С.29-35.
11. *Карпов Р.Г.* Алгоритмическая, программная и аппаратная реализация системы магнитной локации скрытых объектов / Известия высших учебных заведений. Электроника, 2009, Т. 3, С. 53-60.
12. *Movchan I.B.* Approach to automation of field diagnosis data interpretation for localization of pitting in the pipeline wall / I.B. Movchan, A.A. Yakovleva // International journal of civil engineering and Technology, 2019, Vol. 10(2), C. 1571-1581.
13. *Горбаш В.Г.* Неразрушающий контроль в промышленности. Магнитный контроль / Неразрушающий контроль и диагностика, 2011, Т. 2, С.48-63.
14. *Кабанихин С.И.* Обратные и некорректные задачи. - Новосибирск: Сиб. научн. изд-во, 2009. - 457 с.
15. *Звежинский С.С.* Магнитометрические феррозондовые градиентометры для поиска взрывоопасных объектов / Спецтехника и связь, 2009, Т. 1, С.16-29.

УДК 531.7(07)

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Молоткова Екатерина Владиславовна,
группа МОМ-17,
Санкт-Петербургский горный университет

Аннотация. Рассмотрены метрологические аспекты контроля кинематических параметров пространственного положения и ориентации макета КА проекта «Экзо-Марс» при проведении бросковых испытаний.

Ключевые слова: бросковые испытания; проект «Экзо-Марс»; кинематические параметры; методика выполнения измерений

DEVELOPMENT OF METHODS FOR MEASUREMENTFOR KINEMATIC PARAMETERS OF RADIO ENGINEERING OBJECTS

Molotkova Ekaterina Vladislavovna,
group MOM-17,
Saint-Petersburg mining university

Abstract. The metrological aspects of monitoring the kinematic parameters of the spatial position and orientation of the model of the spacecraft of the project «Exo-Mars» during throwing tests are considered.

Keywords: drop test; project “Exo-Mars”; kinematic parameters; measurement technique

В работе рассматриваются метрологические аспекты контроля кинематических параметров – угловая скорость, скорость линейного перемещения центра масс и линейное перемещение амортизатора макета посадочного модуля проекта «Экзо-Марс» при проведении бросковых испытаний космического аппарата (КА) [1, 2, 3].

«ЭкзоМарс» – проект Европейского космического агентства (ESA) и Роскосмоса по исследованию Марса, его поверхности, атмосферы и климата с орбиты и на поверхности планеты [4, 5]. В процессе подготовки новых российских миссий по изучению других планет, появилась необходимость в наземной отработке элементов конструкции посадочных модулей [6, 7, 8].

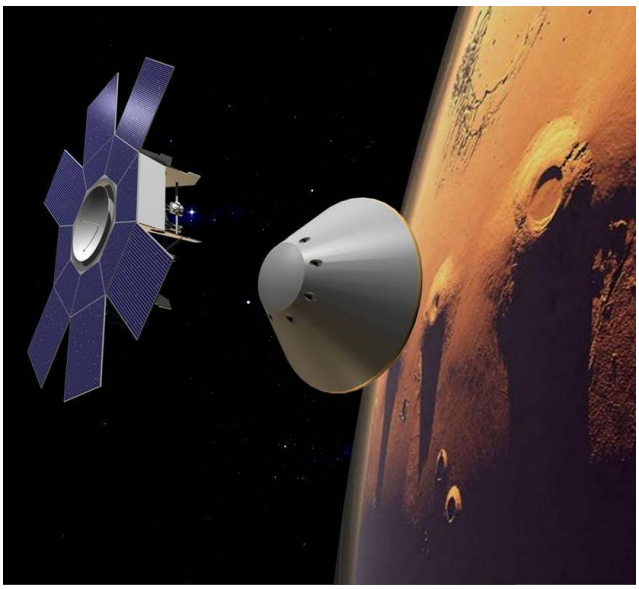


Рис. 1 - КА «Экзо-Марс»

В требования к метрологическому обеспечению КА относят обязательное соответствие действующей нормативной документации, регламентирующей вопросы метрологического обеспечения ракетно-космической техники, проводимого на всех этапах создания и эксплуатации [9, 10, 11, 12]. Задачей исследования является выбор средств измерения для выполнения измерения с предварительным анализом методов измерения кинематических параметров. Дополнительной задачей следует отметить анализ базы первичных эталонов необходимых для отображения прослеживаемости рабочих средств измерения [13, 14, 15].

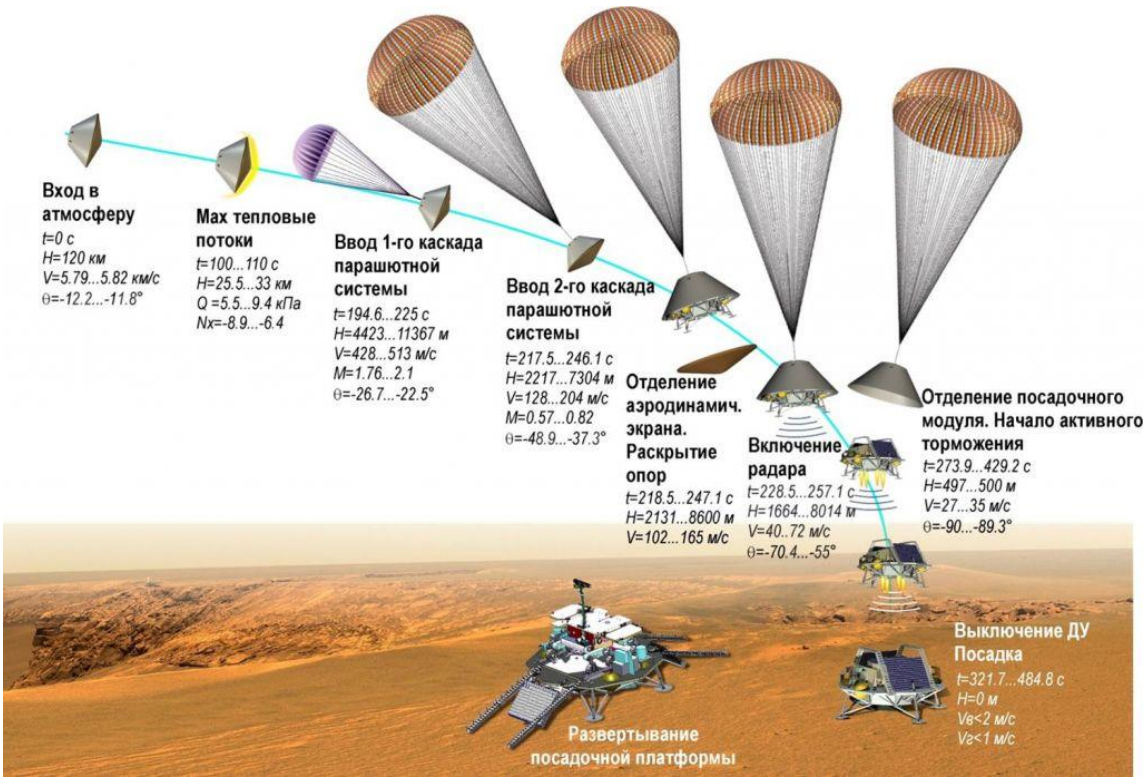


Рис. 2 - План посадки КА «Экзо-Марс»

Результатом проведенных исследований послужит разработанная методика выполнения измерения кинематических параметров, как средства проведения бросковых испытаний КА.

На основе экспериментальных исследований разработана и аттестована методика выполнения измерений кинематических параметров макета КА в соответствии с требованиями нормативных документов на методики выполнения измерений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрашкин В.И.* Определение вращательного движения спутника по данным измерениям его угловой скорости и напряженности магнитного поля Земли с использованием кинематической модели движения / В.И. Абрашкин, М.В. Волклев, К.Е. Воронов, А.В. Егорова, В.А. Панкратов. – М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2011. – 27 с.
2. *Бойзелинк Т.И* Определение вращательного движения спутника Фотон М-3 по данным измерений его угловой скорости и напряжённости магнитного поля Земли / Т.И. Бойзелинк, К. Ван Бавинхов, В.И. Абрашкин, А.Е. Казакова, В.А. Панкратов, В.В. Сазонов. - М.: Российская академия наук, 2010, С. 252-265.
3. *Данилевич С.Б.* Применение имитационного моделирования при аттестации методик выполнения измерений. – М.: Рекламно-информационное агентство «Стандарты и качество», 2009, С. 28-29.
4. *Хартов В.В.* Проектная концепция десантного модуля «ЭкзоМарс-2018 создаваемого НПО им. С.А. Лавочкина / В.В. Хартов, М.Б. Мартынов, А.В. Лукьянчиков, С.Н. Алексашин. - М.: Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина, 2014, С. 5-12.
5. *Казмерчук П.В.* Космический аппарат «Луна-25» - основа новых исследований луны / П.В. Казмерчук, М.Б. Мартынов, И.В. Москатиньев, В.К. Сысоев, А.Д. Юдин. - М.: Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина, 2016, С. 9-19.
6. *Ефанов В.В.* Детонационные устройства разделения космического комплекса «ЭкзоМарс-2018» / В.В. Ефанов, В.В. Горовцов, А.А. Котомин, С.А. Душенок. - М.: Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина, 2014, С. 120-123.
7. *Смирнов В.М.* Проект Луна-Глоб: Радиолокационное зондирование грунта луны / В.М. Смирнов, О.В. Юшкова, В.Н. Марчук, В.В. Абрамов, Ю.Н. Ляхов, Ю.Ф. Квылинский. - М.: Российская академия наук, 2013. – 926 с.
8. *Заславский Г.С.* Баллистико-навигационное обеспечение полета космического аппарата «Спектр Р» / Г.С. Заславский, М.В. Захваткин, И.С. Ильин, В.В. Корянов, А.С. Самотохин, В.А. Степанцев, А.Г. Тучин, В.А. Шишов, В.С. Ярошевский. - М.: Центральный научно-исследовательский институт машиностроения, 2014, С 15-29.
9. *Леонтьев Д.А.* Метрологический контроль качества результатов измерений / Д.А. Леонтьев, А.И. Гризодуб. - М.: Фраком № 2, 2007, С. 16-25.

10. *Данилевич С.Б.* Планирование эффективных методик подтверждения соответствия / С.Б. Данилевич, С.С. Колесников. - М.: Рекламно-информационное агентство «Стандарты и качество», 2007, С. 16-20.
11. *Лобаньков В.М.* О цели и результате измерений. – Законодательная и прикладная метрология, 2010, Т. 6, 9-14 с.
12. *Тучин А.Г.* Определение параметров движения КА по результатам измерений при наличии шума в динамической системе. – М.: Российская академия наук. Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша. № 2, 2004. – 32 с.
13. *Santolaria J.* Methods for assessing kinematic parameters to improve the calibration and repeatability of the coordinate measuring machines with a hinged lever / Precision Engineering, 2008. – 17 с.
14. *Клюшев П.В.* Метрологическое обеспечение испытаний космических аппаратов проекта «Луна-Глоб» / П.В. Клюшев, А.А. Янковский, И.Н. Алфёров. - СПб.: Санкт-Петербургская научно-техническая общественная организация «Институт телекоммуникаций», 2017, С. 93-98.
15. *Казмерчук П.В.* Космический аппарат «Луна-25» - основа новых исследований луны / П.В. Казмерчук, М.Б. Мартынов, И.В. Москатиньев, В.К. Сысоев, А.Д. Юдин. - М.: Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина, 2016, С. 9-19.

УДК 621.879.322

К ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ МАШИНИСТА НА НАДЕЖНОСТЬ ЭКСКАВАТОРА КАК ЭРГАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Мотяков Николай Юрьевич,
группа МММ-18,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. Для складирования и усреднения шихтовых материалов рудных дворов широко применяют карьерные экскаваторы. Отказ в их работе в значительной мере сказывается на функционировании рудного двора и подготовке шихтовых материалов. Интенсивность выработки ресурса экскаватором в этих условиях зависит от трех групп внешних факторов: системы технического обслуживания, природно-климатического фактора и уровня управления эргатической системой экскаватора машинистом. Оценить вклад машиниста в интенсивность дегазационных процессов при работе экскаватора предложено применять результаты, полученные машинистом при его работе на тренажере карьерного экскаватора в заданных условиях эксплуатации.

Ключевые слова: экскаватор; тренажер; машинист экскаватора; рудный двор; шихтовые материалы

TO ESTIMATE THE IMPACT OF THE MACHINERY ON THE RELIABILITY OF THE EXCAVATOR AS ERGATIC

Motyakov Nikolai,
group MMM-18
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Annotation. Quarry excavators are widely used for storing and averaging batch materials of ore yards. The refusal of their work significantly affects the functioning of the ore yard and the preparation of charge materials. The intensity of the development of a resource by an excavator in these conditions depends on three groups of external factors: the maintenance system, the climatic factor and the level of management of the excavator ergatic system by the driver. To evaluate the driver's contribution to the intensity of the degassing processes during the operation of an excavator, it was proposed to apply the results obtained by the driver during his work on a career excavator simulator under the specified operating conditions.

Key words: excavator; simulator; excavator driver; ore yard; charge materials

Непостоянство качества шихтовых материалов приводит к различного рода расстройствам технологических процессов металлургического передела. Так, например, колебания содержания железа в шихтовых материалах приводят к нежелательным изменениям теплового состояния горна, внезапное повышение содержания железа – к похолоданию доменной печи, а его снижение в агломерате и окатышах – к разогреву, колебаниям состава и свойств шлака и ухудшению свойств выплавляемого металла. Изменение гранулометрического состава шихты, ведет к перераспределению газового потока. Для осуществления нормального хода доменного процесса необходима стабилизация качества сырых материалов, которая достигается их усреднением [1].

На рудном дворе складирование и усреднение компонентов осуществляется, в расположенных последовательно специальных штабелях из которых после усреднения ковшовыми экскаваторами перегружается в бункера и далее питателями перегружается на ленточные конвейеры, которыми и доставляется в шихтовое отделение агломерационного цеха.

Основным методом стабилизации состава шихтовых материалов является их складирование в штабели на усреднительных складах. Для улучшения качества усреднения при извлечении шихты экскаваторами формируют промежуточный штабель небольшого объема, в котором материалы дополнительно перемешивают. Применение экскаваторов дает большие возможности для оптимизации этого трудоемкого технологического процесса. При этом один из экскаваторов перегружает сырье из откоса эстакады в промежуточный штабель; второй экскаватор перегружает сырье из промежуточного штабеля в отгрузочный штабель; третий экскаватор загружает сырье в вагоны или непосредственно бункеры. В процессе перегрузки сырья из штабеля в штабель происходит его усреднение [2].

Для наиболее часто применяемых на внутрикарьерных буферно-усреднительных складах экскаваторов типа механическая лопата емкость штабеля, в зависимости от типоразмера технологического оборудования, будет варьироваться от 26 до 43 тыс. т., а емкость зоны смешивания – от 3,3 до 5,5 тыс. т.

В случае возникновения отказа экскаватора возможны два пути - использование резервного оборудования, что является нерентабельным и редко используемым или же остановка в работе всего участка предприятия [3, 4, 5, 6].

Интенсивность выработки ресурса экскаватором в этих условиях зависит от нескольких групп внешних факторов, из которых лишь три имеют существенное значение, а именно [7, 8, 9, 10]:

- функционирование собственно сложной эргатической системы типа экскаватор (квалификация, опыт, навыки, дисциплина, ошибки в работе машиниста, связанные с управлением экскаватором и его функционированием);

- техническое обслуживание и ремонт (система ТО и Р, качество выполнения работ по ТО и ремонту, квалификация персонала);

- природно-климатический фактор (температура, влажность, осадки, ветер).

Оценить вклад машиниста в интенсивность дегазационных процессов при работе экскаватора можно, используя в качестве инструмента тренажер оператора экскаватора карьерного гусеничного ЭКГ-18Р, состоящий из модуля инструктора и модуля машиниста. Модуль представляет собой динамическую платформу (имеет три степени свободы) и имитирует кабину и условия работы экскаватора, включая возможность оперативного управления им и реакцию машины от любого действия машиниста. По конструкции модуль имитирует кабину экскаватора, в котором установлено кресло-пульт оператора с органами управления экскаватором. Имитатор кабины экскаватора оснащен имитаторами контрольно-измерительных приборов, приборов наблюдения и сигнализации соответствующие их размещению в отделении управления кабины реального экскаватор.

Тренажер выполняет три функции – измерительную, (в ходе выполнения учебных заданий происходит непосредственный замер выходных величин), обучающую (работа с тренажуром повышает навык управления реальным экскаватором), имитационная (тренажер создан для того, чтоб сымитировать для оператора нестандартную ситуацию для оценки его квалификационных навыков без риска ущерба для техники).

Проведя спектральный анализ достаточно большого количества таких испытаний, можно сравнить их между собой и делать вывод о влиянии квалификации и опыта машиниста на безаварийную работу экскаватора [11, 12].

На первой стадии анализа нагруженности конкретной машины нужно определить к какому классу она относится и какие методики необходимо применить для ее анализа.

Детерминированные силовые воздействия представляются в виде явных функций времени и зависят от вполне определенных внешних или внутренних факторов.

Результаты численных экспериментов по оценке энергосиловых характеристик приводов экскаватора, проводимых на модуле-тренажере, сравнивают с соответствующими характеристиками идеального цикла, что дает возможность оценить работу машиниста как качественно, так и дать соответствующую количественную оценку.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гребеник В.М.* Механизация работы в черной металлургии. Механизация работ в агломерационном и доменном производствах. - Киев: Виша школа, 1984. - 272 с.

2. *Ивасенко В.В*. Реконструкция рудного двора агломерационного цеха филиала №2 «Енакиевский металлургический завод» ЗАО «ВНЕШТОРГСЕРВИС» // В.В. Ивасенко, В.К. Кобзев / Сборник научных трудов ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2017, Т. 7(50), С. 61-65.

3. *Емельянов А.А.* К вопросу оценки влияния квалификации машиниста на техническое состояние экскаватора / А.А. Емельянов, С.Л. Иванов, Д.А. Шибанов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2017, Т. 12(38), С. 442-453.
4. Индекс жёсткости погоды как интегральный показатель влияния погодных условий на работоспособность карьерных экскаваторов / П.В. Иванова [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2017, Т. 12(38), С. 359-365.
5. Анализ структуры и надежности современного парка карьерных экскаваторов / П.В. Иванова [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2017, Т. 7, С. 51-58.
6. Принципы построения модели технического состояния трансмиссии горной машины при ее эксплуатации / С.А. Асонов [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2017, Т. 3, С. 15-27.
7. Комплексная оценка факторов, определяющих наработку экскаваторов ЭКГ новой продуктовой линейки производства «ИЗ-КАРТЭКС» / Д.А. Шибанов [и др.] // Горное оборудование и электромеханика, 2015, Т. 9(118), С. 3-9.
8. *Иванов С.Л.* Изменение наработки современных отечественных экскаваторов ЭКГ от условий их функционирования / Записки горного института, 2016, Т. 221, С. 692-700.
9. *Ivanov S.L.* Integral criterion of mining machines technical condition level at their operation / S.L. Ivanov, P.V. Shishkin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 87, 022009.
10. *Ivanov S.L.* Manufacturing and design technology of Combined corrected gearing and nonstandard Radial clearance / S.L. Ivanov, P.V. Shishkin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 194, 022013.
11. *Zvonarev I.E.* Evaluation of losses in transmission of machinery for development of mineral deposits in conditions of variable load / I.E. Zvonarev, S.L. Ivanov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 87, 022024.
12. *Zvonarev I.E.* Estimation of the Residual Operation Life Period of Mechanical Transmissions of Mining Machines by Means of Superficial Metal Hardness Measurement in Increased Wear Areas of Their Parts / I.E. Zvonarev, S.L. Ivanov, D.I. Shishlyannikov // Practia Engineering, 2016, Vol. 150, C. 618-625.

УДК 622.692

АВТОМАТИЗАЦИЯ РЕМОНТА ПОДВОДНОГО ГАЗОПРОВОДА САХАЛИН – ХОККАЙДО

Наумова Анна Ярославна,
группа ЭХТ-16-3,
Белова Светлана Александровна,
группа ЭХТ-16-2,
Санкт-Петербургский горный
университет

Аннотация. В статье анализируются возможность автоматизации ремонта будущего подводного газопровода Сахалин – Хоккайдо, который является одним из стратегических вопрос в диалоге между Японией и Россией.

Ключевые слова: модуль; газопровод; диалог; газ; автоматизация

AUTOMATION OF REPAIRS OF THE UNDERWATER GAS PIPELINE SAKHALIN – HOKKAIDO

Naumova Anna Yaroslavna,
group EHT-16-3,
Belova Svetlana Aleksandrovna,
group EHT-16-2,
Saint-Petersburg Mining University

Abstract. The article analyzes the possibility of automating the repair of the future Sakhalin-Hokkaido underwater gas pipeline, which is one of the strategic issues in the dialogue between Japan and Russia.

Keywords: module; gas pipeline; dialogue; gas; automation

Россия и Япония настраивают благоприятную атмосферу в политических и экономических отношениях, и одним из аспектов их диалогов является поставки природного газа в страну восходящего солнца. Сейчас постройка газопровода «Сахалин–Япония» (рис. 1) кажется чем-то невероятным, но вполне достижимым и экономически выгодным, так как Япония на данный момент является одним из крупнейших импортёров сжиженного природного газа, который дороже натурального газа почти в 2,5 раза. Возникают сомнения только со стороны России, так как проект является технически сложным.

Одним из вопросов, возникающих в ходе создания проекта – это автоматизация ремонта подводного газопровода.

Рис. 1 - План строительства магистрального газопровода Сахалин – Хоккайдо

Говоря о механизме способном проводить локальный ремонт в короткое время, необходимо подробнее изучить среду залегания предполагаемого газопровода – Японское море [7-15].

1. Среднегодовая температура Японского моря: 0 – 12 °С на севере, 17-26°С на юге;

2. Средняя глубина Японского моря: 1536 м.

3. Наибольшая глубина японского моря: 3742 м.;

4. Солёность воды Японского моря 33,7-34,3 %;

5. Господствуют сильные северо-западные ветры со скоростями 12-15 м/с (рис. 2).

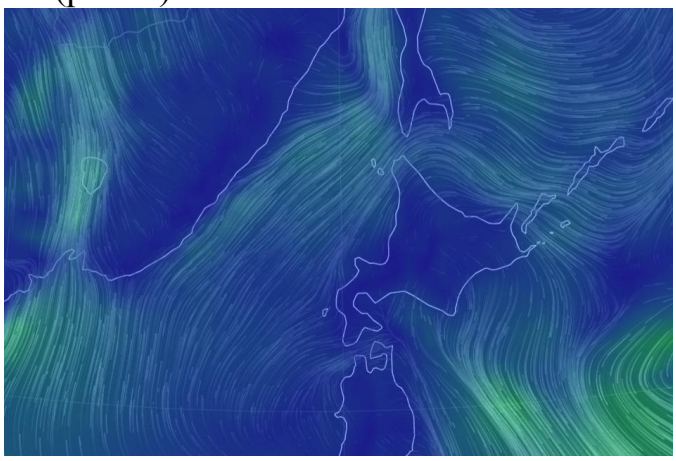


Рис. 2 - Схема ветров Японского моря

То есть в среднем аппарат будет испытывать сжимающее давление равное примерно 15 Мпа, а максимальное давление, которое он должен будет выдержать равно 37 Мпа.

Как показывает опыт, механизм для ремонта подводного газопровода должен быть более антропоморфным, что облегчит и позволит ускорить процесс ремонта. Так как это позволит иметь режим, копирующий действия человека.

Ремонтный модуль должен в себя включать:

- режущий инструмент;
- запрессовочное устройство;
- ремонтная муфта;
- концевые соединители;

- комплект акустического и метрологического оборудования;
- ремонтная муфта;
- инструмент для удаления антикоррозийного и бетонного удаления.

Наличие такого комплекта позволит заниматься монтажом муфт на локальных повреждениях газопровода, а также произвести замену трубопровода при серьезных повреждениях.

Японское море богато разнообразием видов рыб и морских обитателей, поэтому необходимо, чтобы аппарат передвигался в воде с меньшими волнениями. Здесь стоит воспользоваться опытом американских ученых из Калифорнийского университета в Сан-Диего, которые под руководством Майкла Толли создали механизм движения под водой за счет волнообразных движений. Сейчас этот проект рассчитан на аппаратуру малых размеров, но ее можно применить и для крупногабаритных объектов. Единственным минусом будет являться скорость передвижения.

Проект данного газопровода скорее всего будет реализован в ближайшем десятилетии, поэтому разработка оборудования для функциональности и ремонта является актуальной темой уже сейчас.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бирюкова Н.А.* Экспорт природного газа как инструмент расширения влияния США в АТР / Проблемы дальнего востока, 2017, Т. 6, С. 49-59.
2. *Глушенко Е.Ю.* Электронный макет автоматизированного ремонтного комплекса для подводных переходов магистральных трубопроводов и визуализации его эксплуатационного применения / Е.Ю. Глушенко, А.О. Деменко // Проблемы развития корабельного вооружения и судового радиоэлектронного оборудования, 2017, Т. 1(10), С. 10-19.
3. *Илларионов Г.Ю.* Базирование необитаемых подводных аппаратов на подводных носителях / Подводные исследования и робототехника, 2007, Т. 1(3), С. 27-39.
4. *Мерициди И.И.* Концепция разработки комплекса для ремонта подводных трубопроводов / И.И. Мерициди, К.Х. Шотиди // Территория нефтегаз, 2017, Т. 10, С. 76-82.
5. *Мерициди И.И.* Сравнительный анализ методов ремонта подводных нефтепроводов / И.И. Мерициди, К.Х. Шотиди // Нефть, газ и бизнес, 2016, Т. 9, С. 8-12.
6. *Подвойский А.О.* Методика расчета на прочность магистральных трубопроводов из бетонированных труб для подводных переходов / А.О. Подвойский, А.Д. Решетников, П.В. Крылов // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо, 2016, Т. 9, С. 14-21.
7. *Ярощук И.О.* Об интенсивных внутренних волнах в прибрежной зоне залива Петра Великого (Японское море) / И.О. Ярощук, А.П. Леонтьев, А.В. Кошелева // Метеорология и гидрология, 2016, Т. 9, С. 55-62.
8. *Кулагин В.П.* Сахалин-Хоккайдо: два острова свяжет нить газопровода / В.П. Кулагин, Э. Масааки, 2006, Т. 3, С. 007-011.

9. *Лам Куанг Тьен*. Теория и практика сооружения и ремонта морских подводных трубопроводов для транспорта нефти и газа в условиях шельфа СРВ. Автореферат диссертации. – 52 с.
10. *Фаббри С.* Система SIRCoS: ремонт трубопроводов на глубинах ниже уровня погружения водолазов / С. Фаббри, Ф. Каваллини, Р. Джоло, К.М. Спинелли // Научно-техинческий сборник «Вести газовой науки», 2015, Т. 2(22), С. 82-91.
11. *Bianchi S.* The Blue Stream project / 5th Offshore Mediterranean Conference: proceedings, 2001.
12. *Ilinykh M.V.* Assessment of technical condition of underwater transitions of main pipelines in real//IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. DOI: 10.1088/1755-1315/194/7/072003. – 2018. - Volume 194, Issue 7, 15 November. – 072003. – ISSN: 17551307.
13. *Kiefner J.F.* Guidelines for lowering pipe while in service / J.F. Kiefner, T.A. Wall, N.D. Ghadiali, K. Prabaht, E.C. Rodabaugh – Columbus, Ohio: ASME, Battelle Institute, 1985.
14. Offshore Standard DNV OS-F101. Submarine pipeline system. – Oslo, Norway: Det Norske Veritas. Chp. 4, 2007.
15. *Mannucci G.* Evaluation of material response subjected to high plastic deformation when forged into Saipem submarine repairing system / G. Mannucci, G. Malatesta, R. Brandi, C.M. Spinelli // ISOPE, 2008.

УДК 622

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО ГРУППОВАЯ СХЕМА РАССТАНОВКИ РЕЗЦОВ ШНЕКОВЫХ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ

Нгуен Ван Суан,
аспирант,
Санкт-Петербургский горный
университет

Аннотация. Рассмотрены возможности совершенствования схемы расстановки резцов на шнековых исполнительных органах очистных комбайнов. Повышение эффективности отделения угля от массива достигается, при существующих ограничениях толщины срезов, повышением сечений срезов и, следовательно, крупности отделяемого угля, снижением выхода пыли и удельного расхода энергии. Предлагаются комбинированные последовательно-групповые схемы расстановки резцов, включающие энергоэффективные подрезные, парные и групповые формы срезов.

Ключевые слова: уголь; очистной забой; комбайн; исполнительный орган; резец; схема расстановки резцов; эффективность

SERIAL GROUP DIAGRAM OF CUTTING THE CUTTERS OF AUGER EXECUTIVE BODIES OF CLEANING COMBINES

Nguen Van Suan,
postgraduate student,
Saint-Petersburg Mining University

Abstract. The possibilities of improving the arrangement of incisors on auger executive bodies of shearers are considered. Improving the efficiency of separation of coal from the array is achieved, with the existing restrictions on the thickness of the cuts, an increase in the cross sections of cuts and, consequently, the fineness of separated coal, a decrease in dust yield and specific energy consumption. Combined sequential-group arrangement of incisors, including energy-efficient cutting, paired and group forms of cuts, are offered.

Keywords: coal; clearing face; combine; executive body; cutter; cutter placement scheme; efficiency

Узкозахватные комбайны со шнековыми исполнительными органами в настоящее время получили наиболее широкое распространение в процессах добычи угля в комплексно-механизированных очистных забоях (КМОЗ) угольных шахт. Ими оснащены почти все серийно выпускаемые

отечественные и зарубежные механизированные комплексы, применяемые на пластах средней мощности и мощных с углами падения до 35^0 [1, 2]. Известно, что основными достоинствами шнековых исполнительных органов (ШИО) являются совмещение функций отбойки угля и погрузки его на конвейер, широкое регулирование положения шнеков по мощности пласта, возможность осуществления самозарубки в пласт косыми заездами, простота конструкции, надежность и долговечность. В практике работы КМОЗ на пластах средней мощности и мощных им на ближайшее будущее нет альтернативы.

С повышением интенсивности процесса отделения угля от массива эти недостатки проявляются еще более существенно. Поэтому поиск более эффективных способов добычи угля и технических решений по устранению или уменьшению влияния перечисленных недостатков применительно к ШИО являются актуальными.

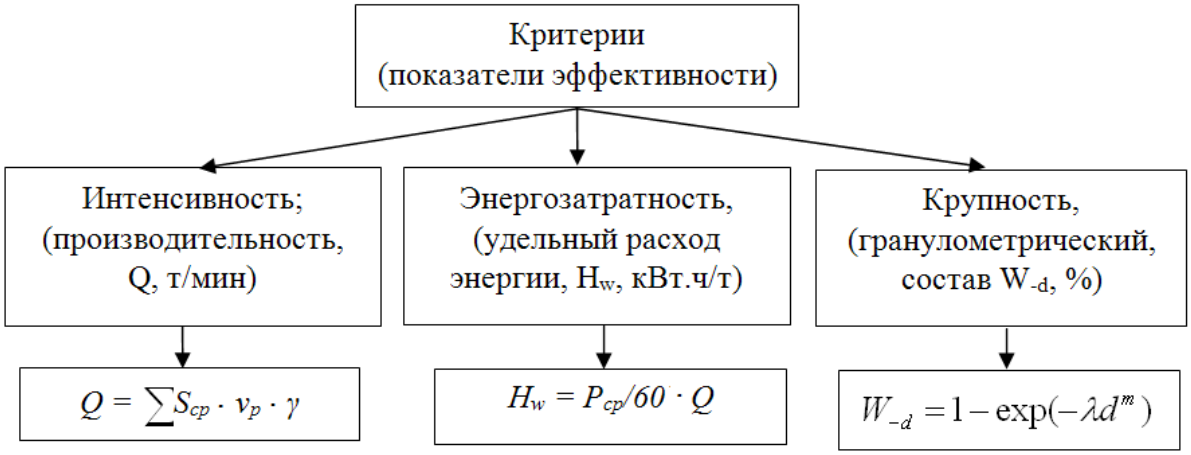


Рис. 1 - Критерии и показатели эффективности процесса отделения угля от массива очистными комбайнами:
S_{cp} – сечение среза, м^2; v_p – скорость резания, м/мин; γ – плотность угля в массиве, т/м^3; h – толщина среза, м; P_{cp} – мощность потока энергии, кВт, d – диаметр частиц (кусков) угля, м; λ – степени измельчения; m – параметр формы

Повышение эффективности процесса отделения угля от массива (рис. 1) достигается, как правило, увеличением толщины (h), ширины (t) или соответственны сечения (S_{cp}) срезов [3]. Если толщина среза ограничена радиальным вылетом резцов и степенью вписываемости их резцедержателей в развал среза, то ширина и сечение срезов могут быть увеличены формированием использованием подрезных, парных или групповых срезов.

Идея заключается в том, что эффективность процесса резания достигается использованием комбинированной схемы расстановки резцов и типов срезов: последовательных, подрезных, парных и групповых. В парных и групповых срезах обеспечиваются единые локальные критические области напряжений в подрезцовых зонах массива смежными резцами (парными или групповыми) при заданном ограниченном значении толщины среза, что и обеспечивает отделение угля от массива срезами больших сечений и,

следовательно, снижение удельного расхода энергии и объёмов мелких классов угля и пыли.

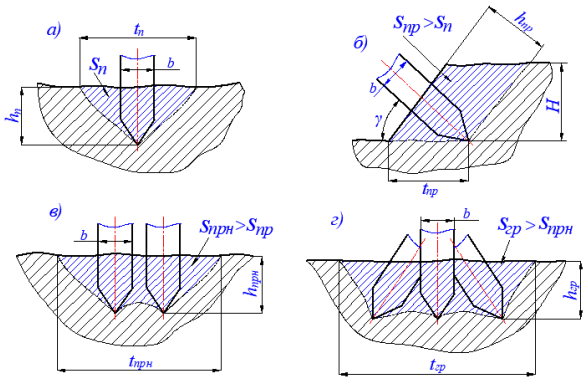


Рис. 2 - Сечения срезов:
а – последовательный; б – подрезной; в – парный срез; г – групповой срез;
(h – толщина среза; t – ширина среза; b – ширина резца; S – сечения среза)

Последовательный срез (рис. 2, *а*) и последовательная схема расстановки резцов используется наиболее часто. Срез характерен наличием двух плоскостей обнажения и сопровождается односторонним развалом борозды среза. Поверхность забоя после резания не является выровненной. При этом процесс отделения угля и породы от массива устойчив при разработке весьма прочных и даже особо прочных угольных пластов и рекомендован для разрушения вязких с крепкими включениями и с прослоями породы угольных пластов. Этот тип среза принят в качестве исходного (базового) для сравнения и оценки исследуемых подрезного, парного и группового срезов и соответствующих схем расстановки резцов, так как он подобен им по форме сечений среза, их параметрам и условиям среза по наличию плоскостей обнажения.

Подрезной срез (рис. 2, *б*) имеет место при перемещении резца вдоль уступа высотой H с двумя плоскостями обнажений и наклоне оси резца к поверхности забоя под углом γ, сопровождается односторонним развалом борозды среза. Поверхность забоя после срезов не является выравненной высота уступа H может быть несколько большей, чем толщина последовательного среза и несколько меньше удельный расход энергии (H_w).

Парный срез (рис. 2, *в*) формируется двумя одинаковыми по размеру сближенными резцами, установленными параллельно без опережения друг друга. Срез характерен наличием двух поверхностей обнажений и сопровождается односторонним развалом борозды среза. Отличается от последовательного среза формированием единой критической подрезцовой зоны напряжений, обусловливающей более крупные сколы и ширину ($t_{пр}$) борозды парного среза:

$$t_{пр} = 2t_п \cdot к_{пр},$$

где $к_{пр} = 0{,}8 \div 0{,}9$ [4].

Групповой срез (рис. 2, *г*) формируется радиальными тангенциальными одинаковыми по размеру резцами. Срез характерен наличием двух поверхностей обнажений, сопровождается односторонним развалом борозды среза. Отличается от последовательного и парного срезов большей шириной ($t_{гр}$) группового среза: $t_{гр} = 2t_{пр} + t_{оп}$, с большей шириной и площадью сечения среза, повышается выход крупных фракций при добыче угля, снижается

выход пыли.

Выводы.

Анализ повышения эффективности отделения угля от массива возможно с помощью комплексным решением, приводит к выводу о том, что:

– увеличение площади сечения реза с использованием эффекта сближенных резцов производят нарезание борозды парного среза и образования комбинированных групп и прорезей;

– групповой срез с одинаковыми, радиальным вылетом по размеру резцами;

– предложить новые схемы расстановки резцов на шнековом исполнительном органе, чтобы увеличить производительность и улучшить качество угля, чтобы снижение мелких классов и пыли;

– поиск, обоснование и использование более эффективных форм и площади сечений срезов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Солод В.И.* Горные машины и автоматизированные комплексы / В.И. Солод, В.И. Зайков, К.М. Первов. - М.: Недра, 1981. – 502 с.

2. *Zadkov D.A.* Energy-saving modular units for selective coal cutting / D.A. Zadkov, V.V. Gabov // Eurasian mining, 2016, Vol. 1, C. 37-40.

3. *Габов В.В.* Анализ измечения угля при добыче на шахтах Воркуты / В.В. Габов, А.А. Банников // Горное оборудование и электромеханика, 2011, Т. 2, С. 9-12.

4. *Нгуен К.Л.* Обоснование геометрических и режимных параметров шнековых исполнительных органов, обеспечивающих эффективность погрузки угля на забойный конвейер / К.Л. Нгуен, В.В. Габов, В.С. Нгуен, Т.В. Ле, Д.А. Задков // Уголь, 2018, Т. 2, С. 32-35.

УДК 622-684

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ БЕЛАЗ НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ

Невзоров Данил Николаевич,
группа ГТС-16,
Санкт-Петербургский горный
университет

Аннотация. Добыча полезных ископаемых с каждым годом ведется все в более сложных и опасных горно-геологических и климатических условиях. Разработка месторождений в условиях Крайнего Севера, пустынных и горных регионах с недостаточно развитой социальной инфраструктурой существенно осложняет участие человека в технологических процессах добычи полезных ископаемых, создает проблемы подбора высококвалифицированного персонала и другое. В этих условиях особую значимость приобретает проект «Интеллектуальный карьер», то есть создание системы автоматизированной и роботизированной добычи полезных ископаемых.

Ключевые слова: беспилотные транспортные системы; роботизированный самосвал; открытая разработка; автоматизированные системы управления горнотранспортным комплексом; проект «Интеллектуальный карьер»

THE PROSPECTS OF USE OF THE PILOTLESS BELAZ DUMP TRUCKS ON OPEN MINING OPERATIONS

Nevzorov Danil Nikolaevich
group GTS-16,
Saint-Petersburg Mining University

Abstract. Mining is conducted all in more difficult and dangerous mining-and-geological and climatic conditions every year. Development of fields in the conditions of Far North, desert and mountain regions with insufficiently developed social infrastructure significantly complicates participation of the person in technological processes of mining, creates problems of selection of highly skilled personnel and another. In these conditions the special importance is gained by the Intellectual Pit project, that is creation of a system of the automated and robotic mining.

Keywords: pilotless transport systems; robotic dump truck; open-cast mining; automated control systems for a mining-transport complex; Intellectual Pit project

Добыча и переработка минералов и металлов имеет такую же давнюю историю, как и развитие человечества. В настоящее время такие факторы, как

рост численности населения, урбанизация, социальное и экономическое развитие и даже спрос на «зелёную» и низкоуглеродистую экономику способствуют росту спроса на минералы и металлы [1].

В последние десятилетия в мировой практике горного производства прослеживается тенденция активной подготовки к частичному или полному внедрению роботизированных технологий, в том числе на открытых горных работах. Проект «Интеллектуальный карьер» представляет собой новый этап в развитии автоматизированных систем управления горнотранспортными комплексами [2].

Три основных производителя грузовых автомобилей, которые достигли в этой области определённых успехов – это Komatsu, Caterpillar и Hitachi, Каждая из них сотрудничает с горнодобывающими компаниями (включая RioTinto, BHP и Fortescue), чтобы внедрять свои технологии в реальных условиях эксплуатации карьеров. Большинство из этих карьеров находятся в регионе Пилбара, в Западной Австралии, где в огромных количествах добывается железная руда. Первой реализовала роботизированную систему компания «Komatsu» на карьере «West Angelas» компании «Rio Tinto» в 2008 г. [3].

Россия не намерена оставаться в стороне от разворачивающейся глобальной технологической революции. С 1999 г. на горных предприятиях стран СНГ и ближнего зарубежья внедряется система диспетчеризации горнотранспортного комплекса «Карьер», разработанная компанией «Вист Групп» в рамках соглашения о стратегическом партнёрстве с РУПП «Белорусский автомобильный завод» система «Карьер» явилась отправной базовой технологией для создания современной автоматизированной (в перспективе роботизированной) системы управления ГТК «Интеллектуальный карьер». Сегодня ключевыми участниками такого проекта являются: АО «СУЭК», ОАО «ВИСТ Групп», ОАО «БЕЛАЗ» [4].

Для повышения коэффициента использования грузоподъёмности роботизированного автосамосвала в конструкторском бюро БЕЛАЗ была разработана новая модель автономного самосвала на базе БелАЗ 75131 без кабины для водителя с увеличенным объёмом кузова. Современные роботизированные транспортные средства могут перемещаться по карьеру автономно, без чьей-либо помощи. Комплекты датчиков собирают данные окружающей среды, бортовые компьютеры анализируют их и принимают соответствующие решения, инструктируя системы управления. Также они передают данные в общую сетевую инфраструктуру и между другими транспортными средствами, например, сигналы остановки.

Разработка ПО системы во многом базируется на программно-алгоритмических средствах системы автоматизированного управления и мониторинга горнотранспортного комплекса. Диспетчер может управлять карьерной техникой, используя цифровую модель участков горных работ и 3D-модель взаимного расположения автосамосвала и экскаватора, и обращаться к видеоизображению как к вспомогательному, а не основному. Опытный оператор в непрерывном технологическом цикле может успешно

управлять четырьмя-пятью роботизированными карьерными самосвалами, находясь офисе [5].

Испытания показали, что ряд элементов конструкции обычного автосамосвала становится излишними для роботизированного. Отсутствие кабины, снижение требований по безопасности из-за отсутствия людей в зоне ведения работ удешевляет автосамосвал и компенсирует часть затрат на установку современных элементов навигации. К тому же, по мере развития технологий, датчики и другие дорогостоящие компоненты будут становиться более доступными, что ещё более удешевит производство.

Внедрение единой системы диспетчеризации горнотранспортного комплекса «Карьер» позволило достичь следующих эффектов [11]:

- экономия дизельного топлива до 10 %;
- увеличение коэффициента использования пробега на 7,6 % за счёт сокращения холостых пробегов;
- увеличение производительности на 12,7 % по объёмам перевозок и на 19,2 % по грузообороту;
- снижение удельного энергопотребления экскаваторов на кубометр горной массы на ≈30 %;
- оптимизация грузопотоков, увеличение времени производительной работы оборудования;
- планомерный ремонт и обслуживание парка машин, увеличение сроков службы узлов и агрегатов.

По результатам исследований [6] австралийских учёных за 2010 г. по внедрению роботизированных автосамосвалов на примере одного из эксплуатируемых карьеров с автопарком в 60 единиц можно сделать некоторые выводы. Автономные грузовики по некоторым показателям превосходят автомобили с ручным приводом, поскольку они работают более рационально; бортовой компьютер анализирует и строит самый короткий маршрут; автономные транспортные средства имеют плавное ускорение и замедление, более эффективно переключают передачи; они не работают на холостом ходу из-за смены водителя или других подобных простоев.

Что касается российского сегмента, то Д.А. Клебанов показал, что затраты на создание роботизированной технологии на участке «породный бункер – отвал» разреза «Черногорский» АО «СУЭК» при достижении плановых значений внедрения системы через 6–9 месяцев окупаются менее чем за 2 года. Это свидетельствует об экономической обоснованности применения роботизированных систем не только за рубежом [7].

Существует ограниченное количество карьеров, готовых к испытаниям автономных грузовиков. Технологии роботизации находятся в стадии зарождения, обкатки, и сегодня целесообразны только на карьерах с длительным сроком службы – у карьера со сроком службы 5-10 лет гораздо более низкая рентабельность инвестиций. Это так же является причиной того, почему крупнейшие железорудные карьеры в Австралии и карьер нефтяных песков в Канаде с огромными грузовыми автопарками и

длительными сроками эксплуатации являются первопроходцами применения автономных самосвалов.

Спрос на полезные ископаемые увеличивается как никогда, особенно с ростом численности населения в развивающихся странах, стремящихся улучшить уровень жизни с новой инфраструктурой. Это вынуждает горняков принимать новаторские меры, чтобы уменьшить себестоимость продукции. Автономные карьерные самосвалы – одна из возможностей сделать их операции более эффективными, уменьшая труд и связанные затраты. Роботы оказались эффективными при эксплуатациях больших рудников в развитых странах, где есть нехватка квалифицированных рабочих. Крупные зарубежные компании с высоким уровнем заработной платы глубоко заинтересованы в применении автоматизации в целях сбережения средств.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кондратьев В.Б.* Роль горной промышленности в экономике / Горная Промышленность, 2017, Т. 1(131), С. 4-15.
2. *Трубецкой К.Н.* Перспективы применения роботизированной техники на карьерах будущего / Горный информационно-аналитический бюллетень, 2013, Т. 21, С. 354-363.
3. Rio Tinto opens automated Pilbara Operations Centre. https://www.australianmining.com.au/news/rio/tinto/opens/automated/pilbara/operations/centre/.
4. *Трубецкой К.Н.* Технология управления горными работами в карьерах: перспективы развития / Горный журнал, 2013, Т. 7, С. 4-6.
5. *Brown C.* Autonomous Vehicle Technology in Mining / Autonomous Mining, 2012, Vol. 1, С. 30-32.
6. *Клебанов Д.А.* Роботизированные технологии добычи полезных ископаемых рождаются в недрах инновационного центра Сколково / Д.А. Клебанов, М.А. Макеев // Горная Промышленность, 2012, Т. 4, С. 132-134.
7. *Клебанов Д.А.* Разработка технико-экономических решений по созданию и применению роботизированных систем грузоперевозок на открытых горных работах. – М.: ИПКОН РАН, 2015. – 135 с.
8. *Глинина О.И.* II Международная научно-практическая конференция «Открытые горные работы в XXI веке». Уголь, 2015, Т. 12, С.4-17.
9. Autonomous haulage systems – the business case. https://www.ausimmbulletin.com/feature/autonomous.haulage.systems.the.business.case/.
10. Роботизированные горнотехнические системы при открытой разработке месторождений полезных ископаемых / К.Н. Трубецкой, Д.Н. Владимиров, И.А. Пыталев, Т.М. Попова // Горный журнал, 2016, Т. 5, С. 21-27.
11. *Шевкун Е.Б.* Роботизированные системы автомобильного транспорта на открытых горных работах / Е.Б. Шевкун, Е.А. Казаков // Ученые заметки ТОГУ, 2017, Т. 8(4), С. 460-472.

УДК 621.91.01

ВЫБОР СТРАТЕГИИ ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ШАРОВОЙ КОНЦЕВОЙ ФРЕЗОЙ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Несторовски Благоя,
группа ТАММ-18,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. С точки зрения эффективности процесса обработки важно снизить энергопотребление. С использованием станков с ЧПУ фрезерование с использованием шаровых концевых фрез становится все более популярным. Однако работа с этими инструментами сопряжена со многими сложностями. Титановые сплавы относятся к труднообрабатываемым материалам, что приводит к значительному удорожанию продукции, учитывая износ инструмента и высокую степень энергоемкости процесса резания. Рассматриваются научные работы в области оптимизации и прогнозирования энергопотребления. Таким образом, был сделан вывод, что в доступной литературе имеется ограниченное количество исследований по оптимизации энергопотребления при обработке титановых сплавов. Также предлагается двухступенчатый эксперимент.

Ключевые слова: энергопотребление; оптимизация; титановые сплавы; шаровые концевые фрезы; сложнопрофильные поверхности; фрезерование

SELECTION OF POWER CONSUMPTION OPTIMIZATION STRATEGY IN BALL-END MILLING OF TITANIUM ALLOYS

Nestorovski Blagoja,
group TAMM-18,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. From the aspect of the efficiency of the machining process it is important to reduce the power consumption. With the usage of CNC machines, ball-end milling becomes more used. However, working with these tools has many obstacles. The bad machining peculiarities of Titanium alloys make its machining a challenging process. This process is resulting in high consumption of power as well as a high degree of tool wear. Many research papers are reviewed in the area of optimization and prediction of power consummation. Hence, it has been concluded that the literature is very narrow from the aspect of optimization of power consummation while machining Titanium alloys. Two-stage experiment is proposed as well.

Keywords: power consumption; optimization; titanium alloys; ball end mills; complex profile surfaces; milling

Эффективность процесса механической обработки в большой степени зависит от энергопотребления, которое составляет значительную часть общей стоимости обработки конечного продукта. Еще одной дополнительной причиной для дальнейшей работы в этой области является ситуация, связанная с глобальным потеплением, поскольку с ростом энергопотребления в конечном итоге увеличиваются выбросы CO_2 в окружающую среду. Национальное статистическое бюро Китая представило данные, которые показывают, что в структуре общего энергопотребления затраты на производство составляют 66,80%. Такая ситуация наблюдается в странах с формирующейся рыночной экономикой, таких как Китай, Индия и других. Минимизация энергозатрат в процессе обработки не только снизит стоимость продукции, но и будет способствовать решению экологических проблем [1, 2, 3]. Другим фактором, позволяющим повысить эффективность механической обработки и уменьшить негативное воздействие производственных процессов на окружающую среду, является внедрение технологий переработки и брикетирования металлической стружки [4, 5].

Фрезерование с использованием шаровых концевых фрез широко используется для обработки сложнопрофильных поверхностей с высоким классом шероховатости. Однако применение этих инструментов сопряжено с различными трудностями. В процессе обработки эффективный диаметр инструмента постоянно изменяется в зависимости от глубины резания, в отличие от фрезерования обычным инструментом. В работе [6] отмечаются различные факторы, влияющие на шероховатость поверхности, при этом акцент делается на угол между инструментом и обрабатываемой поверхностью. Показано, что обработка под углом $\alpha = 0$ приводит к ухудшению шероховатости поверхности, выявлены причины этого явления. При увеличении угла отклонения инструмента от нулевого значения ситуация с шероховатостью улучшается. В работе [7] приведены результаты экспериментальных исследований по определению силы резания и ее составляющих в зависимости от направления фрезерования, скорости резания и угла наклона инструмента при обработке в сложнопрофильных поверхностей. Эксперимент показал, что сила резания также сильно зависит от угла между инструментом и обрабатываемой поверхностью.

Титановые сплавы широко используются в аэрокосмической промышленности, судостроении, военной промышленности и т.д. Главная причина этого кроется в их уникальных свойствах. Титановые сплавы обладают высокой удельной прочностью, жаростойкостью, коррозионной стойкостью, низкой плотностью и т.д. [8]. Вместе с тем, титановые сплавы относятся к труднообрабатываемым материалам, что приводит к значительному удорожанию продукции, учитывая износ инструмента и

высокую степень энергоемкости процесса резания [9]. Основные проблемы обработки титановых сплавов объясняются в статьях [10, 11].

Многие исследователи ведут работу в области оптимизации и прогнозирования энергопотребления в процессе механической обработки [12]. В работе [13] предложена стратегия оптимизации и снижения энергопотребления при шаровом фрезеровании стали марки Х12М, основанная на концепции Teaching Learning Based Optimization, позволяющей уменьшить силы резания. Также было проведено численное симулирование, результаты которого были в дальнейшем подтверждены экспериментом.

В работе [14] основное внимание уделено энергопотреблению и износу инструмента при обработке титановых сплавов. Была разработана матрица рекомендуемых значений параметров режимов резания для обработки титановых сплавов, проведены экспериментальные исследования с измерением и анализом силы резания, износа инструмента, шероховатости поверхности, а также энергопотребления.

Авторы работы [15] предложили эмпирическую модель для объяснения взаимосвязи между энергопотреблением и параметрами процесса резания, которая была проверена обработкой на различных токарных и фрезерных станках. Данная методология прогнозирует энергопотребление с точностью до 90%.

Выводы. В доступной литературе имеется ограниченное количество исследований по оптимизации энергопотребления при обработке титановых сплавов. Для дальнейших исследований и с целью разработки стратегии оптимизации энергопотребления при обработке титановых сплавов, предлагается провести двухступенчатый эксперимент.

На первом этапе необходимо провести исследование с целью выявления взаимосвязи между энергопотреблением и углом отклонения оси инструмента от нормали к обрабатываемой поверхности, с учетом зависимости параметров шероховатости и силы резания от этого угла. В дальнейшем, используя методы линейного программирования, необходимо разработать математическую модель, позволяющую обеспечить оптимизацию и снижение энергопотребления при обработке титановых сплавов шаровыми концевыми фрезами. Планируется экспериментальную часть работы провести на базе лаборатории станков с ЧПУ в составе интерактивного учебного класса компании EMCO, имеющейся в распоряжении кафедры машиностроения Горного университета [16].

Второй этап будет направлен на верификацию предлагаемой модели. В ходе эксперимента необходимо измерить несколько параметров в зависимости от угла наклона оси инструмента (шаровой концевой фрезы), а именно: шероховатость поверхности, затрачиваемую мощность и компоненты силы резания. Важным моментом при исследовании энергопотребления является учет динамических процессов в технологических системах и назначение таких режимов механической обработки, которые исключают возможность появления производственных дефектов [17, 18, 19].

Во многих случаях, несмотря на хорошие свойства, титановые сплавы не используют из-за высокой стоимости обработки. За счет оптимизации энергопотребления можно снизить затраты на механическую обработку, что будет способствовать более широкому применению титановых сплавов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Model-Based on an Effective Material-Removal Rate to Evaluate Specific Energy Consumption in Grinding / A.N. Alberro [и др.] // Materials, 2019, Vol. 53, Article number 939.
2. *Munoz A.A.* An analytical approach for determining the environmental impact of machining processes / A.A. Munoz, P. Sheng // Journal of Materials Processing Tech, 1995, Vol. 53, С. 736-758.
3. Electrical energy consumption of CNC machine tools based on empirical modeling / Z. Jiang [и др.] // International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2019, Vol. 100, С. 2255-2267.
4. *Злотников Е.Г.* Современные технологии переработки и брикетирования металлической стружки в автоматизированных производствах / Е.Г. Злотников, В.В. Максаров // Записки горного института, 2014, Т. 209, С. 37-41.
5. *Злотников Е.Г.* Выбор технологической схемы переработки металлической стружки в автоматизированном производстве / Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, С. 91-93.
6. *Wojciechowski S.* Surface texture analysis after ball end milling with various surface inclination of hardened steel / S. Wojciechowski, P. Twardowski, M. Wieczorowski // Metrology and Measurement Systems, 2014, Vol. 21, С. 145-156.
7. Influences of the tool path strategy on the machining force when milling free form geometries with a ball-end cutting tool / A.F. de Souza [и др.] // Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 2015, Vol. 37, С. 675-687.
8. *Ezugwu E.O.* Titanium alloys and their machinability - A review / E.O. Ezugwu, Z.M. Wang // Journal of Materials Processing Technology, 1997, Vol. 68, С. 262-274
9. *Максаров В.В.* Повышение точности и качества изготовления деталей из титана и титановых сплавов на основе предварительного локального пластического деформирования / В. В. Максаров, Е. В. Кошелева // Качество и жизнь, Т. 3, 2016, С. 61-65.
10. *Максаров В.В.* Повышение качества изготовления деталей из титановых сплавов методом локального пластического деформирования / В.В. Максаров, Е.В. Кошелева, А.Ю. Важенин // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева, 2017, Т. 1, С. 276–281.

11. *Sahu N.K.* Modelling and multiobjective optimization for productivity improvement in high speed milling of Ti–6Al–4V using RSM and GA / N.K. Sahu, A.B. Andhare // Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 2017, Vol. 39, C. 5069-5085.
12. *Mavliutov A.R.* Optimization of cutting parameters for machining time in turning process / A.R. Mavliutov, E.G. Zlotnikov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, Vol. 327(4), 42069.
13. *Venkata Rao K.* Power consumption optimization strategy in micro ball-end milling of D2 steel via TLBO coupled with 3D FEM simulation / K. Venkata Rao // Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, 2019, Vol. 132, C. 68-78.
14. *Pervaiz S.* Power consumption and tool wear assessment when machining titanium alloys / S. Pervaiz, I. Deiab, B. Darras // International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 2013, Vol. 14, C. 925-936.
15. *Kara S.* Unit process energy consumption models for material removal processes / S. Kara, W. Li // CIRP Annals - Manufacturing Technology, 2011, Vol. 60, C. 37-40.
16. *Злотников Е.Г.* Обучение студентов машиностроительного направления программированию станков с ЧПУ на базе интерактивного учебного класса компании EMCO / Современные образовательные технологии в подготовке специалистов для минерально-сырьевого комплекса. Сборник научных трудов, 2018, С. 563-568.
17. *Ershov D.Y.* Analysis of causes and mathematical description of process of manufacturing errors and local defects in mechanical system nodes / D.Y. Ershov, L.E. Koboyankwe, E.G. Zlotnikov // IOP Conference Series: Earth And Environmental Science, 2017, Vol. 87(8), 082015.
18. *Ershov D.Y.* Dynamic processes in technological systems of machining and the nature of their origin / D.Y. Ershov, E.G. Zlotnikov, L.E. Koboyankwe // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 878), 82016.
19. *Максаров В.В.* Влияние структурных параметров режущей керамики на работоспособность инструмента при обработке прецизионных поверхностей деталей горных машин / В.В. Максаров, А.Д. Халимоненко // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2017, Т. 8 (1), С 56-64.

УДК 621.793.5

СОЗДАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДИФФУЗИОННОГО ОСАЖДЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ИЗ РАСПЛАВОВ ЛЕГКОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ

Никитина Вера Олеговна,
группа МНММ-17,
Кончус Дарина Александровна,
аспирант,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра МиТХИ

Аннотация. В работе получены эмпирические формулы для определения толщины диффузионного слоя от температуры и времени насыщения процесса для сталей Ст3кп и 45.

Ключевые слова: диффузионное покрытие; коэффициент диффузии; толщина диффузионного слоя

CREATING OF MATHEMATICAL MODEL OF DIFFUSIONAL DEPOSITION OF METAL COATINGS FROM MELTS OF FUSIBLE METALS.

Nikitina Vera Olegovna,
group MNMM-17,
Konchus Darina Alexandrovna,
postgraduate student,
Saint-Petersburg Mining University, MiTHI
department

Abstract. In this paper empirical formulas are obtained for determining the thickness of the diffusion layer as a function of temperature and saturation time of the process for the 1.0036 and 1.0503 steels.

Keywords: diffusion coating; diffusion coefficient; diffusion layer thickness

Актуальность данной работы обуславливается тем что, создание защитных покрытий и успешное решение задач по формированию диффузионных покрытий позволит сократить используемых металлов, увеличить качество деталей машин и механизмов, увеличить производительность труда, сэкономить материальные, энергетические и трудовые ресурсы [1]. Наибольший экономический эффект может быть достигнут при использовании покрытий для защиты металлов от коррозии, устранении износа деталей существующего и нового оборудования, особенно

в химической и нефтегазовой промышленности, в энергетическом, транспортном и сельскохозяйственном машиностроении [2, 3].

Объектом исследования являлось нанесение диффузионного слоя никеля из жидкого расплава свинца. Предметом исследований являлись образцы и изделия марок Ст3кп, Сталь 45. В качестве транспортного расплава использовался свинец гранулированный Ч ТУ 6-09-02-557-95. Покрытия формировались на основе никеля марки НП1.

Выбор диффузанта обусловлен его положительными характеристиками в качестве легирующего элемента, в том числе в качестве компонента влияющего на увеличение сопротивляемости коррозии [4, 5].

Экспериментальные исследования показали, что наибольшая скорость формирования покрытий на основе никеля, а так же удовлетворительное условие незначительной растворимости основных компонентов конструкционных материалов происходит из: расплава свинца; эвтектики свинец-висмут; расплава свинца с добавлением (0,5…1 % масс) лития.

Увеличение длительности процесса оказывает большее влияние на увеличение скорости встречного диффузионного потока, чем температура процесса. С увеличением температуры процесса существенное возрастание массопереноса компонентов основного металла в легкоплавкий расплав наступает при температуре выше 1373 К. По значениям графика концентрации распределения диффузанта в диффузионном слое находится эффективный коэффициент диффузии (табл. 1) [6-9].

Таблица 1

Эффективные коэффициенты диффузии никеля

Насыщаемый материал	Эффективный коэффициент диффузии Ni D_{Fe}^{Ni} см^2/с
Сталь Ст3кп	$3{,}6*10^{-7}$
Сталь 45	$1{,}6*10^{-6}$

После нахождения эффективного коэффициента диффузии, для получения эмпирических формул, позволяющих определить толщину покрытия в зависимости от температуры и времени диффузионного насыщения необходимо преобразовать равенство [10]:

$$\delta = K\sqrt{D\tau}.$$

После проведения преобразований вычисленные значения энергии активации диффузии Q позволили получить эмпирическую формулу для определения толщины диффузионного слоя δ от температуры T и времени диффузионного насыщения τ:

$$\delta = K\sqrt{A}\, e^{\left(-\frac{Q}{RT}\right)}\ \sqrt{\tau}\ .$$

Пользуясь этой формулой можно вычислить глубину слоя при различных температурах и времени процесса диффузионного насыщения. При определении значения $K\sqrt{A}$ в формулу подставляется величина толщины слоя, полученная экспериментально при определенной температуре и времени процесса [11-13].

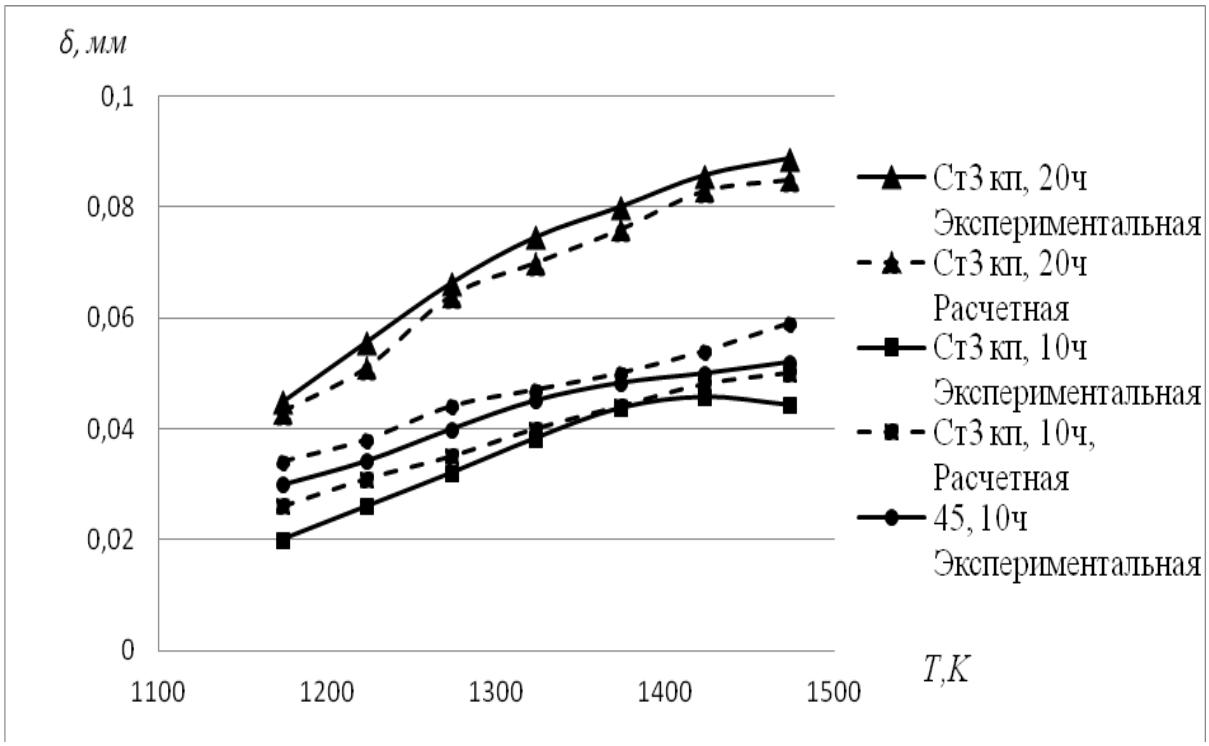


Рис. 1 - Расчетная зависимость толщины никелевого покрытия стали Ст3кп при τ = 20 ч, стали Ст3кп при τ = 10 ч, стали 45 при τ = 10 ч

После проведенного исследования рассчитаны эффективные коэффициенты диффузии никеля для сталей, а также определена энергия активации диффузии для сталей.

Получены эмпирические формулы для определения толщины диффузионного слоя от температуры и времени насыщения процесса:

- для стали 45:

$$\delta = 0{,}134 \cdot e^{\left(-\frac{2856{,}68}{T}\right)}\sqrt{\tau} \text{ мм;}$$

- для стали Ст3кп:

$$\delta = 0{,}27 \cdot e^{\left(-\frac{4047{,}67}{T}\right)}\sqrt{\tau} \text{ мм.}$$

Для сравнения расчетных и экспериментальных данных диффузионного никелевого покрытия построены графические зависимости δ от t^o и τ насыщения (рис. 1) [14, 15].

Использование полученных результатов может позволить на практике обеспечить эффективное использование нанесение диффузионных покрытий

из жидкометаллических растворов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Красный В. А.* Оценка влияния шероховатости поверхности на повышение прочности сцепления износостойкого напыляемого покрытия / В.А. Красный, В.В. Максаров // Металлообработка, 2014, Т. 5, С. 47–51.
2. *Максаров В.В.* Об основах развития «компьютерных технологий» в машиностроении / В.В. Максаров, В.А. Клевцов // Материалы 4-й Международной научно-практической конференции «Современное машиностроение. Наука и образование», 2014, С. 877 - 885.
3. *Максаров В.В.* Технологическое обеспечение шероховатости поверхностного слоя на основе моделирования переходных процессов / В.В. Максаров, А.Е. Ефимов, Р.В. Вьюшин // Металлообработка, 2017, Т. 2, С. 39-46.
4. *Шахназаров К.Ю.* Dependance of steel and alloys physico-mechanical properties anomalies with phase rule diagram / К.Ю. Шахназаров, Е.И. Пряхин // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series, 2018, Vol. 1118, 12042.
5. *Шахназаров К.Ю.* New version of Kurnakov's law about relationship between properties of binary alloys and phase diagrams balance / К.Ю. Шахназаров, Е.И. Пряхин, И.Б. Померанец // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 87.
6. *Сивенков А.В.* Химико-термическая обработка сталей в среде легкоплавких растворов / Записки Горного института, 2014, Т. 209, С 244-248.
7. *Сивенков А.В.* Технология нанесения покрытий способом ВТДО из среды легкоплавких расплавов / «Мир гальваники», 2012, Т. 2, С. 67-69.
8. *Сивенков А.В.* Исследование свойств никелевых покрытий, нанесенных из легкоплавких расплавов / Научно-технические ведомости СПбГПУ, 2011, Т. 3, С. 119-123.
9. *Bolobov V.I.* О влиянии упрочняющей обработки материала футеровки шаровых мельниц на его износостойкость / V.I. Bolobov, V.S. Bochkov // Горный журнал, 2017, Т. 1, С. 57-60.
10. *Пряхин Е.И.* Способы защиты от коррозии оборудования по добыче нефти и газа методом диффузионного покрытия металлами / Е.И. Пряхин, Х.Н. Джаббаров // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME-2017. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, 2017.
11. *Болобов В.И.* О возможности повышения износостойкости быстроизнашиваемых элементов горно-обогатительного оборудования термомеханической обработкой / В.И. Болобов, В.С. Бочков // Записки Горного института, 2017, Т. 221, С. 688-691.
12. *Болобов В.И.* Влияние вида упрочняющей обработки на износостойкость материалов горного оборудования / В.И. Болобов, С.А. Чупин // Записки Горного института, 2015, Т. 216, С. 44-49.

13. *Ольт Ю.* Обеспечение адгезионной прочности газотермических покрытий поршневых колец двигателей карьерного транспорта / Ю. Ольт, В.А. Красный, В.В. Максаров // Записки Горного института, 2018, Т. 229, С. 77-83.
14. *Максаров В.В.* Механизмы трениятонкослойных покрытий в условиях фреттинг-коррозии / В.В. Максаров, В.А. Красный // Научно-технические ведомости СПбПУ, 2015, Т. 3, С. 111-120.
15. *Zlotnikov E.G.* Modeling and calculation of load on cutting inserts of disk milling cutters in software environment of Autodesk Inventor / E.G. Zlotnikov, A.D. Khalimonenko, D.Y. Kazakov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 194, 22048.

УДК 621.792.3; 65.011.56

АВТОМАТИЗАЦИЯ СБОРКИ УЗЛОВ ГИДРОГРАФИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Никифоров Александр Алексеевич,
группа ТОА–15,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра Машиностроения

Аннотация. Гидрографическое оборудование весьма широко по номенклатуре и, в ряде случаев, автоматизация процессов сборки отдельных узлов и механизмов является актуальной задачей. Рассмотрены основные направления и предложены способы автоматизации сборочных операций при производстве гидрографического оборудования.

Ключевые слова: автоматизация сборочных процессов; гидрографическое оборудование; форсунка; схема сборки

AUTOMATION OF HYDROGRAPHIC ASSEMBLY EQUIPMENTS

Nikiforov Aleksandr Alekseevich,
group TOA-15,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. Hydrographic equipment is very wide in terms of nomenclature and, in some cases, the automation of assembly processes of individual components and mechanisms is an urgent task. The basic directions are considered and the ways of automation of assembly operations in the production of hydrographic equipment are proposed.

Keywords: automation of assembly processes; hydrographic equipment; injector; assembly scheme

В настоящее время основная задача, стоящая перед машиностроительным комплексом, заключается в повышении технического уровня производства, его рентабельности и качества продукции, экономии трудовых и производственных ресурсов, повышении уровня экономического образования менеджеров и технического образования специалистов.

Большое значение имеет решение вопроса об автоматизации и совершенствовании процессов сборки, в частности, сборки деталей и узлов гидрографического оборудования.

Гидрография представляет собой раздел общей гидрологии, является прикладной наукой, занимающейся исследованием и описанием океанов,

морей, озёр, рек, водохранилищ и других водных объектов с целью обеспечения безопасности судоходства и повышения эффективности использования плавсредств торгового, военно-морского, промыслового и пассажирского флотов. Гидрография начала формироваться на заре мореплавания, изначально же существовала как часть кораблевождения; по мере совершенствования средств и методов гидрографических исследований преобразовалась в самостоятельную науку. Гидрографию также можно определить как подвид гидрологии суши, основной задачей которого является описание и изучение вод суши (озёр, водохранилищ, рек, каналов), их гидрологического режима, физико-географических условий и хозяйственного использования. Также гидрографию можно определить, как совокупность мероприятий по обеспечению безопасности судовождения на всех водных объектах.

Гидрографическое оборудование включает навигационное оборудование побережий, судоходных рек, подходов к портам и др. К гидрографическому оборудованию, в производстве которого существуют работы, связанные с совершенствованием и автоматизацией сборки, относятся: земснаряды для производства дноуглубительных работ, виброустановки для формирования рельефа дна, баржи, плавкраны, суда обеспечения (завозчики якорей), шаланды для транспортировки щебня различной фракции в требуемую точку морской акватории, катера, предназначенные для промера морского дна.

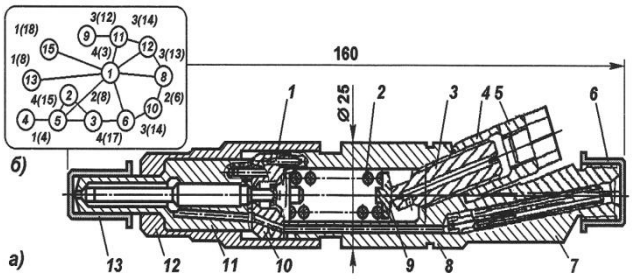


Рис. 1 – Общий вид форсунки (*а*) и граф последовательности ее сборки (*б*)

При производстве ответственных деталей серьезное внимание следует уделять как применяемым материалам [1-5] и совершенствованию технологии механической обработки [6-12], так и сборочным процессам [13-16].

В качестве примера рассмотрена схема сборки и автоматизация сборочного процесса при изготовлении форсунок (рис. 1, 2), применяемых в топливных насосах катера для промеров дна (рис. 3).

Совершенствование сборочного процесса заключается в применении автоматизированного комплекса на пневмовихревых автоматах. Он включает гибкую транспортную систему со спутниками, на которых установлены кассеты с деталями и собранными форсунками.

Прецизионные детали (корпус форсунки, проставка, распылитель в сборе) подаются к сборочным автоматам со склада в кассетах и устанавливаются на загрузочные позиции автоматов из вибробункеров. Собранные изделия удаляются из автоматов такими же манипуляторами.

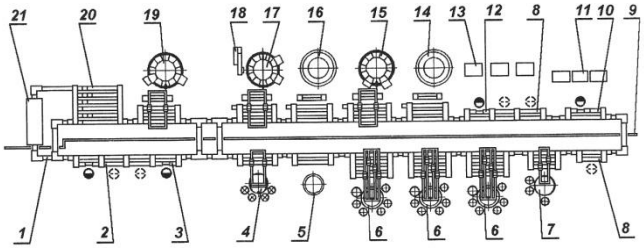


Рис. 2 – Комплекс сборки и испытаний форсунок

Рис. 3 – Промерный катер «Раптор»

Аналогичными манипуляторами, осуществляющими загрузку и выгрузку форсунок, оснащены также и контрольно-испытательные автоматы.

В комплексе предусмотрены свободные резервные зоны для возможности установки дублирующего сборочного и контрольно-испытательного оборудования при увеличении объема выпуска форсунок.

Высокая гибкость системы дает возможность в любое время изменять технологический процесс, вводить или выводить дублирующие позиции, изменять степень автоматизации операций. Имеется возможность поэтапного создания и внедрения комплекса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Марукович Е.И.* Повышение эксплуатационных свойств ответственных деталей горных машин из легированных чугунов / Е.И. Марукович, В.Ф. Бевза, В.П. Груша, В.А. Красный // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2016, Т. 10, С. 48-60.

2. *Бевза В.Ф.* Совершенствование структуры и свойств заготовок деталей горного и нефтеперерабатывающего машиностроения из чугуна «нирезист» / В.Ф. Бевза, В.П. Груша, В.А. Красный // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2018, Т. 2, С. 156-167.

3. *Krasnyy V.* Improving fretting resistance of heavily loaded friction machine parts using a modified polymer composition / V. Krasnyy, V. Maksarov, J. Olt // Agronomy Research, 2016, T. 14(1), C. 1023-1033.

4. *Красный В.А.* Применение полимерных композитных материалов в узлах трения скважинных нефтяных насосов / В.А. Красный, В.В. Максаров,Ю. Ольт // Записки Горного института. 2015, Vol. 211. С. 71-79.

5. *Халимоненко А.Д.* Точность обработки при точении заготовок режущим инструментом, оснащенным сменными керамическими пластинами / А.Д. Халимоненко, Р.В. Вьюшин // Записки горного института, 2014, Т. 209, С. 99-103.

6. *Тимофеев Д.Ю.* Повышение точности изготовления прецизионных поверхностей детали шток гидроцилиндров / Д.Ю. Тимофеев, А.Е. Ефимов // Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, С. 142-145.

7. *Ershov D.Y.* Dynamic processes in technological systems of machining and the nature of their origin / D.Y. Ershov, E.G. Zlotnikov, L.E. Koboyankwe // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, 082016.
8. *Maksarov V.V.* Simulation of dynamic processes when machining transition surfaces of stepped shafts / V.V. Maksarov, R.V. Viushin, V.A. Krasnyy // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018, Vol. 327, 022047.
9. *Mavliutov A.R.* Optimization of cutting parameters for machining time in turning process / A.R. Mavliutov, E.G. Zlotnikov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 042069.
10. *Alekseeva L.B.* Evaluation of effect of oil film of rotor bearing / L.B. Alekseeva, V.V. Maksarov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 022003.
11. *Максаров В.В*. Моделирование динамических процессов механической обработки в среде NI LABVIEW для совершенствования технологии изготовления деталей горных машин / В.В. Максаров, А.Е. Ефимов, Д.А. Осминко // Металлообработка, 2018, Т. 1(103), С. 6-13.
12. *Максаров В.В*. Технологическое повышение качества сложнопрофильных поверхностей методом магнитно-абразивного полирования / В.В. Максаров, А.И. Кексин // Металлообработка, 2017, Т. 1(97), С. 47-57.
13. *Набатников Ю.Ф.* Селективная сборка деталей машин в горном машиностроении / Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2014, Т. 6, С. 159-164.
14. *Ласуков А.А.* Автоматизация сборки в машиностроении. - Томск: ТПУ, 2010. - 176 с.
15. *Максаров В.В.* Влияние структурных параметров режущей керамики на работоспособность инструмента при обработке прецизионных поверхностей деталей горных машин / В.В. Максаров, А.Д. Халимоненко // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2017, Т. 8 (1), С 56-64.
16. *Морозов И.М.* Основы технологии сборки в машиностроении / А.М. Морозов, В.Ю. Шамин. - Челябинск: ЮУрГУ, 2006. - 72 с.

УДК 629.331

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГАЗОБАЛЛОННЫХ АВТОМОБИЛЕЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РАЗВИТИЯ, НА ПРИМЕРЕ ПРЕДПРИЯТИЯ «ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ СУРГУТ»

Новоселов Евгений Павлович,
группа АХ-15,
Санкт-Петербургский горный университет, Электромеханический факультет

Аннотация. В настоящее время в Российской Федерации увеличивается количество автомобилей, использующих газовое топливо, ввиду низкой стоимости на сам газ, а также растущих цен на бензин и дизельное топливо. Еще одним преимуществом компримированного природного газа является его экологичность, особенно в настоящее время [1]. В работе приводится анализ одного из таких предприятий, а также трудности, которые возникают при переводе автомобилей на газ. Также приведены собственные разработки предприятия в сфере оборудования для проведения работ по техническому обслуживанию и ремонту.

Ключевые слова: компримированный природный газ; автомобиль; метан; газобаллонное оборудование; защитный кожух; стенд регулировки

FEATURES OF OPERATION OF GAS-CYLINDER CARS AND DEVELOPMENT POTENTIAL, ON THE EXAMPLE OF ENTERPRISE "GAZPROM TRANSGAZ SURGUT"

Novoselov Evgenii Pavlovich,
group AH-15,
Saint-Petersburg Mining University,
Electromechanical faculty

Abstract. Currently, the number of vehicles using gas fuel is increasing in the Russian Federation, due to the low cost of gas itself, as well as rising prices for gasoline and diesel fuel. Another advantage of compressed natural gas is its environmental friendliness, especially at present [1]. The paper provides an analysis of one of these enterprises, as well as the difficulties that arise when converting cars to gas. Also given the company's own development in the field of equipment for maintenance and repair.

Keywords: compressed natural gas, vehicle, methane, gas-cylinder equipment, protective case, adjustment bench.

Высокая насыщенность машинами, оборудованными двигателями внутреннего сгорания (ДВС), привела к тому, что при работе они расходуют большое количество моторного топлива и выбрасывают в атмосферу вместе с отработавшими газами (ОГ) большое количество окиси углерода и других вредных составляющих, которые отрицательно влияют на здоровье человека.

Автотранспорт является одним из крупнейших загрязнителей окружающей среды и создает угрозу экологической безопасности. Особенно это касается загрязнения воздуха в крупных городах, т.к. доля автотранспорта в суммарных выбросах загрязняющих веществ в атмосферу достигает 70-80% [2]. Проблема загрязнения городов выбросами автомобильного транспорта является одной из самых актуальных и серьезнейших для всех городов мира. Компримированный природный газ (КПГ) позволяет сократить выбросы углекислого газа на 25%, а выбросы угарного газа на 80% [3].

Энергетические и экологические проблемы приобретают в настоящее время первостепенное значение и должны рассматриваться в тесной взаимосвязи.

Важным направлением обеспечения экологической безопасности является перевод части автотранспортных средств на использование альтернативных видов топлива, прежде всего природного газа (ПГ). На сегодняшний день ПГ является наиболее приемлемой альтернативой нефтяным моторным топливам по экономическим, ресурсным и экологическим характеристикам. Использование КПГ и сжиженного природного газа (СПГ) в качестве топлива позволяет существенно повысить экономическую эффективность эксплуатации автомобильного транспорта и снизить вредное воздействие на природную среду. В пользу использования ПГ выступает его ресурсная обеспеченность. По различным оценкам запасов нефти должно хватить на 40...60 лет, а газа - на 100...150 лет. Некоторые страны уже имеют положительный опыт использования данного вида топлива (табл. 1) [4].

Таблица 1

Статистика газобаллонных автомобилей в мире

Страна	Количество автомобилей на газе, ед.	Процент от общего количества автомобилей, %
Пакистан	2750000	61,4
Аргентина	1900000	15,3
Польша	2500000	12,2
Италия	730000	1,6
США	112000	0,44
Германия	91500	0,2
Канада	12000	0,06
Россия	100000	0,003

Стоит выделить тот факт, что Правительство Российской Федерации приняло постановление о переводе на газовое топливо не менее половины общественного транспорта в стране [5]. Отмечается, что автомобили,

работающие на газе, являются одними из самых перспективных видов транспорта.

В настоящее время особый акцент сделан на необходимости развития использования газа в качестве топлива для муниципального транспорта в крупных городах, что позволит значительно улучшить экологическую ситуацию в мегаполисах, а также сократить расходы на содержание автопарка ввиду того, что разница КПГ и бензина по стоимости, примерно в 4 раза меньше (табл. 2).

Таблица 2

Сравнительная стоимость использования КПГ/бензин

Тип транспортного средства	Газель 330263	
	Бензин АИ-92	КПГ
Пройденное расстояние за ездку (км)	492	492
Расход на 100 км	13 л	11,7 $м^3$
Цена за л/$м^3$	41,63 руб.	15,83 руб.
Количество ездок в месяц	18	18
Затраты в месяц, руб.	47928	16402
Экономия, руб.		31526

Использование природного газа в качестве моторного топлива позволяет повысить уровень безопасности эксплуатации транспортных средств. Метан почти в 2 раза легче воздуха, поэтому при разгерметизации он улетучивается, а не оседает, в отличие от других видов топлива. Метан не токсичен, не канцерогенен. Кроме того, нижние температурные и концентрационные показатели воспламенения у газов существенно выше, чем у бензина и дизельного топлива. За счет того, что газ находится в баллонах под давлением, исключается возможность попадания в них воздуха, необходимого для воспламенения или взрыва, в то время как в баках с бензином или дизельным топливом все время присутствует смесь их паров с воздухом. Газовые баллоны имеют многократный запас прочности и устанавливаются в наименее уязвимые места автомобиля. В случае пожара баллоны, наполненные метаном, не взрываются, газ стравливается через специальные вставки и выгорает. Многие специалисты считают природный газ топливом XXI века [6].

Стоит отметить, что оценка выбросов вредных веществ в настоящий момент затруднена. ГОСТ Р 56162-2014 «Выбросы вредных веществ в атмосферу. Метод расчета выбросов от автотранспорта при проведении сводных расчетов для городских населенных пунктах», которым следует руководствоваться для расчета выбросов [7]. Однако в данной методике выброс загрязняющего вещества зависит лишь от группы автомобиля, для которых приведены значения загрязняющих веществ в г/км, но не учитываются тот факт, что транспортное средство может эксплуатироваться на разных видах топлива, а значит и выбросы от них тоже разные. На наш взгляд, в расчете следует ввести коэффициент, определяющий выброс вредных веществ от автотранспорта в зависимости от вида горючего.

К основным преимуществам использования КПГ перед альтернативными видами топлива можно также отнести [8].

1. КПГ не содержит вредных примесей (свинец, сера), которые на химическом уровне разрушают детали камеры сгорания.

2. Стабильность агрегатного состояния. Газ поступает в двигатель в газообразной фазе, не смывает масляную плёнку со стенок цилиндров и не разжижает масло в картере.

3. Газ легко смешивается с воздухом и равномерно наполняет цилиндры однородной смесью.

3. КПГ почти втрое дешевле дизельного топлива. Несмотря на то, что расход газа несколько выше традиционного топлива (в городских условиях примерно на 15%, за городом на 10%), экономия всё же значительна. Особенно это ощутимо при больших пробегах автомобиля. Расходы на горюче-смазочные материалы могут снижаться на 40%.

5. Содержание вредных веществ в отработавших газах снижается на 53%.

6. Штатная система подвергается минимальному переоборудованию, абсолютно не теряя прежней мощности;

7. Использование КПГ обеспечивает увеличение срока службы двигателя на 30…40% и в последствии снижает ремонтные затраты.

Большинство предприятий в Российской Федерации стремятся перевести свой автопарк именно на газ для достижения максимальной экономии средств на топливе [9]. Сургутское управление технологического транспорта и специальной техники (УТТ и СТ) создано 27.01.1978 года. Оно действует от имени общества «ПАО Газпром», в своей деятельности руководствуется действующим законодательством РФ, Уставом Общества и Положением о УТТ и СТ [10].

В своей структуре на 31.12.2014 год УТТ и СТ имеет: аппарат управления, три автотранспортных цеха, здравпункт и спортивный зал, общая численность на предприятии – 1370 человек.

УТТ и СТ организует и обеспечивает структурные подразделения ООО техникой. Предоставляет транспорт для их корпоративного спортивного клуба «Факел», организует развозку работников до мест работы сотрудников, а именно до подразделений, находящихся в г. Сургуте, Тюмени, Ноябрьске, Тобольске, а также до компрессорных станций.

Общее число техники во всех цехах подразделения составляет 1026 единиц. Количество автомобильной техники в Сургутском автотранспортном цехе (САТЦ) УТТ и СТ 393 единицы из них работают на компримированном природном газе (КПГ) 196 автомобилей (табл. 3). Из них только на КПГ 38, на КПГ/бензин 156, КПГ/ДТ 5 [10].

Из 196 автомобилей переоборудовано на КПГ собственными силами с 2012 по 2016 - 106 единиц (из них в САТЦ 60%).

Ввиду увеличения количества автомобилей на компримированном природном газе автопредприятие столкнулось с увеличением количества отказов автомобилей на данном виде топлива. Было принято решение о

создании участка обслуживания газобаллонных автомобилей, а также разработке мероприятий по поддержанию транспортных средств в работоспособном состоянии и обеспечивать бесперебойную работу предприятия.

Таблица 3

Количество автомобильной техники в САТЦ, работающих на КПГ

Автомобиль	Количество	Вид топлива
1	2	3
Волжанин	1	КПГ/ДТ
ГАЗ-330262;2217;32212; 330263; 2705; 32213	49	КПГ/бензин
ГАЗ-3102	21	КПГ/бензин
ЗИЛ-4331	4	КПГ/бензин
КАвЗ-3976, ПАЗ-3206	9	КПГ/бензин
КАвЗ-4238-72	8	Только КПГ
KAMAZ 65117, 43118-20.	4	КПГ/ДТ
KAMAZ-65116-30, 65115-32	24	Только КПГ
KAMAZ Маркополо Бравис	3	Только КПГ
НефАЗ-5299-000011-31	2	Только КПГ
УАЗ Patriot	50	КПГ/бензин
Урал 55571-3121-16	1	Только КПГ
Форд Mondeo	13	КПГ/бензин
Шевроле Нива	2	КПГ/бензин

Статистики выхода из строя автомобилей не ведётся, но по опыту эксплуатации было выявлено достаточное количество отказов у газовых автомобилей KAMAZ 65116-30 и 65115-32 и 2014-2017 года выпуска: выходят из строя дозаторы газа, свечи, форсунки, приходится перебирать газовые редуктора. При ремонте эти все запасные части в основном являются заказными, их нет в наличии в Сургуте. Они являются импортными, что из-за программы импортозамещения представляет трудности по их закупке. Также на газовых автомобилях KAMAZ имеют место отказы двигателей: начинаются задиры цилиндров в поршневой группе при пробеге от 15000-50000 км, что требует больших затрат на ремонт или замену двигателей. Была замена 5 двигателей KAMAZ 820.60 и ремонт 2 двигателей KAMAZ 820.60 в гарантийный период. Были отказы двигателя Урал-55571-3121-16 при минимальных пробегах.

По остальным автомобилям на КПГ отказов не выявлено. Имеют место только регулировки при плановом техническом облуживании.

Из опыта эксплуатации установлено, что при обслуживании: необходима приточно-вытяжная вентиляция, соответствующая объему помещения, датчики утечки, также необходимо оборудование для диагностики (АСКАН-10, программа LandiRenzoSetup), течеискатели, пункт аккумулирования газа, собственные приборы для регулировки подачи газа.

Для выполнения работ с автомобилями, работающими на газе, специалисты, и, в частности, слесари прошли специальную подготовку и

имеют удостоверение слесаря по ремонту топливной аппаратуры, удостоверение для работы с сосудами, работающими под давлением.

По опыту эксплуатации основными трудностями на предприятии являются: отсутствие запасных частей в Сургуте, отсутствие оборудования для ремонта и освидетельствования баллонов, а также основная трудность в ограниченной сети газовых заправок.

На 03.04.2017 в России насчитывается 314 АГНКС [11] (автомобильная газонаполнительная компрессорная станция). К сравнению количество АЗС с бензином и дизельным топливом на 2017 год насчитывается 29735 штук.

Автомобили предприятия не могут преодолеть расстояние равное 800 км (Сургут-Тюмень), ввиду отсутствия АГНКС приходится использовать мобильные заправщики для дополнительной дозаправки машин в пути [12].

Ввиду увеличения количества автомобилей на природном газе на предприятии, будет создаваться участок технического обслуживания и ремонта. Это позволит уменьшить временные и денежные затраты, а именно затраты на обслуживание автомобилей на стороннем предприятии.

Для обеспечения работоспособности автомобилей KAMAZ-65115, KAMAZ-65116 УТТ и СТ потребовался «Кожух защиты газовых редукторов» [13].

После многолетней эксплуатации автомобилей марок указанных выше, сформировался основной перечень периодически возникающих неисправностей ГБО, являющихся, причиной долгого простоя транспортных средств.

В УТТ и СТ эксплуатируется большое количество автомобилей KAMAZ 65115, 65116, 65117 с газовыми двигателями. Газовое оборудование у данных автомобилей расположено за кабиной ТС и подвержено воздействию атмосферных осадков.

Рис. 1 - Газовый редуктор с завода

С целью сохранения работоспособного состояния газовых редукторов (рис. 1) путем защиты от внешних атмосферных воздействий, предлагаем изготовить и установить укрывной козырек (рис. 2). Для этого нам понадобиться: лист металла толщиной 2 мм, длинной 300 мм, шириной 300 мм, трубка D-6 мм, длинна 300 мм, 5 штук электродов «3», сварочные работы будет производить электрогазосварщик.

Данное предложение позволяет сохранить работоспособность газового оборудования и сократить простои автомобилей в ремонте.

При эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте газобаллонных автомобилей и автобусов, в конструкции которых используется новое поколение газовой аппаратуры, предназначенной для использования в качестве моторного топлива - компримированный

природный газ (КПГ), требуются специальные инструменты, оборудование и приспособления.

Рис. 2 - Установленный защитный кожух

Для выполнения этих работ предлагается использовать стенд, предназначенный для ремонта, регулировки, опрессовки газовых редукторов и газовой аппаратуры, входящих в состав газотопливной системы газобаллонных автомобилей (ГБА), настройку и проверку технического состояния и рабочих параметров газобаллонного оборудования (ГБО) автомобилей [13].

Используя переходные соединения для ГБО разных изготовителей, приспособление позволяет производить:

1. Проверку герметичности соединений и трубопроводов.
2. Проверка герметичности газовых систем питания.
3. Проверку герметичности и работоспособность вентилей.
4. Проверку герметичности газовых электромагнитных клапанов.
5. Проверку герметичности, работоспособность и регулировку редукторов высокого давления.
6. Проверку герметичности, работоспособность дозатора газа электромагнитного.

Рис. 3 - Стенд проверки ГБО

Приспособление представляет собой монтажный стол с закрепленными на нем манометрами, вентилями и соединительными трубками высокого и низкого давления. Высокое давление обеспечивает кислородный баллон с сжатым воздухом (15,2 МПа), расположенный около стола. Также используем генератор импульсов для проверки газовых дозаторов. Блок питания на 24 и 12 вольт для проверки соленоидных электромагнитных клапанов.

К перспективам развития применения КПГ можно отнести:

1. Проектирование автомобилей на КПГ с завода. Не беря в учет российских производителей, концерн VAG будет оснащать свои «новинки» двигателями семейства tgi. Заявленный средний расход топлива на Golf с роботизированной коробкой – 3,5 кг газа на 100 км пробега).

2. На 2019 год в РФ на строительство газовых заправок выделено 4 млрд. рублей. Системные решения, позволяют рационально определять место размещения заправочных пунктов КПГ и их параметры [14].

3. Снижение выбросов вредных веществ в атмосферу. В сравнении с дизельным двигателем, выбросы оксида углерода сокращаются в 2-3 раза.

4. Природный газ не образует отложений в топливной системе, не смывает масляную пленку со стенок цилиндров, тем самым снижая трение и уменьшая износ двигателя. При сгорании природного газа не образуется твердых частиц и золы, вызывающих повышенный износ цилиндров и поршней двигателя. Таким образом, использование природного газа в качестве моторного топлива позволяет увеличить срок службы двигателя в 1,5-2 раза. Следовательно, простоев и затрат на КР будет меньше [15].

Вышерассмотренное предприятие УТТ и СТ «Газпром Трансгаз Сургут» будет стремиться и дальше переводить свой автопарк на метан, а также производить закупку автомобилей на данном виде топлива. Еще одним направлением будет реконструкция участка для хранения под участок для технического обслуживания и текущего ремонта газобаллонных автомобилей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дидманидзе О.Н.* Научные основы ресурсосбережения в газовых двигателях / О.Н. Дидманидзе, А.С. Афанасьев, Р.Т. Хакимов, К.А. Бисенов // В сборнике материалов Всемирного Конгресса инженеров и ученых «Энергия будущего: инновационные сценарии и методы их реализации», Астана, 2017, С. 221-227.
2. *Афанасьев А.С.* Обоснование экологической оценки безопасности дизелей автомобильной техники / А.С. Афанасьев, Р.Т. Хакимов, С.М. Загорский // Вестник Таджикского университета, 2015, Т. 3(31), С. 225-228.
3. *Ковалев С.Н.* обоснование эффективности использования компримированного природного газа в качестве моторного топлива / С.Н. Ковалев, Р.А. Ланчакова, Е.В. Панченко, Н.М. Бауэр, Н.А. Казанцева // Материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, Тюмень, ТИУ, 2014.
4. Статистика международного опыта ГБО. http://www.agts-spb.ru/ecology/experience/.
5. Рентабельность использования газомоторного топлива. http://www.gazpromlpg.ru/?id=212.
6. *Ахметов Л.А.* Экономическая эффективность и эксплуатационные качества газобаллонных автомобилей / Л.А. Ахметов, В.Н. Иванов, В. Ерохов. - Ташкент: Узбекистан, 2004.
7. ГОСТ Р 56162-2014 «Выбросы вредных веществ в атмосферу. Метод расчета выбросов от автотранспорта при проведении сводных расчетов для городских населенных пунктах», 2014.
8. *Чернышева Е.А.* Компримированный природный газ в качестве моторного топлива / Е.А. Чернышева, А.М. Хисамутдинов, А.Р. Мухаметярова // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо, 2016, Т. 7(112), С. 12-17.

9. *Афанасьев А.С.* Анализ транспортных средств, работающих на компримированном природном газе, и разработка мероприятий по поддержанию их работоспособности / А.С. Афанасьев, О.В. Жуков, А.А. Рыженков // Сборник трудов II Международной научно-практической конференции «Транспортное планирование и моделирование», СПб, ГАСУ, 2017.
10. Пояснительная записка к годовому отчету за 2017 год УТТ и СТ, Сургут, 2018.
11. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 13 мая 2013 г. № 767-р.
12. *Афанасьев А.С.* Анализ эксплуатации газобаллонных автомобилей на предприятии УТТ и СТ «Газпром Трансгаз Сургут» и пути их совершенствования / А.С. Афанасьев, Е.П. Новоселов // III Всероссийская межвузовская конференция «Магистерские слушания», СПб, ГАСУ, 2018.
13. Журнал рационализаторских предложений УТТ и СТ ООО «Газпром Трансгаз Сургут».
14. *Бондаренко Е.В.* Формирование сети заправочных станций компримированным природным газом / Е.В. Бондаренко, А.М. Федотов, Р.Т. Шайлин // Вестник Оренбургского государственного университета, 2014, Т. 10(171), С. 23-29.
15. *Новиков А.Е.* / А.Е. Новиков, А.В. Божко, А.А. Заболотная, С.Н. Сазонов // В Сборнике материалов национальной научно-практической конференции «Наука, образование и инновации в современном мире», Воронеж, 2018, С. 106-110.

УДК 389.14 – ОТИ

АНАЛИЗ ЭТАЛОННОЙ БАЗЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ ПАРКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Осичева Елизавета Андреевна,
группа МО-16,
Санкт-Петербургский горный университет

Аннотация. Единство измерений в стране достигается в результате функционирования системы обеспечения единства измерений, которую образуют совокупность законодательных и иных нормативных правовых актов, нормативно-технических и методических документов в области обеспечения единства измерений, участники системы обеспечения единства измерений, эталонная база и парк средств измерений. В ходе работы была рассмотрена эталонная база единицы длины – метр, проанализирована динамика изменения количества утвержденных эталонов за последние 5 лет, проведен анализ изменения межаттестационного интервала и разряда эталона, а также представлены предложения по модернизации парка средств измерений.

Ключевые слова: единство измерений; эталон; эталонная база; длина

ANALYSIS OF STANDARD BASE AND PROPOSALS FOR THE MODERNIZATION OF MEASURING INSTRUMENTS

Osicheva Elizaveta Andreevna,
group MO-16,
Saint-Petersburg mining University

Abstract. The unity of measurements in the country is achieved as a result of the functioning of the system of ensuring the unity of measurements, which form a set of legislative and other normative legal acts, normative-technical and methodological documents in the field of ensuring the unity of measurements, participants of the system of ensuring the unity of measurements, the reference base and the Park of measuring instruments. In the course of the work, the reference base of the unit of length – meter was considered, the dynamics of changes in the number of approved standards for the last 5 years was analyzed, the nomenclature of measuring instruments, changes in the inter-test interval and the discharge of the standard was analyzed, and proposals for the modernization of the Park of measuring instruments were presented.

Keywords: unity of measurements; standard; reference base; length

Введение.

По состоянию по состоянию на март 2019 года эталонная база РФ насчитывает 164 государственных первичных эталонов (ГПЭ) и более 90 тыс утвержденных эталонов. Поскольку государственные эталоны служат для воспроизведения физических величин, структура эталонной базы соответствует структуре единиц СИ. Основа этой базы — эталоны основных единиц СИ. Наряду с основными единицами СИ в состав эталонной базы России входят эталоны производных единиц. В настоящее время в России существуют эталоны всех основных единиц, кроме эталона единицы количества вещества (моль). Основные единицы СИ это: единица времени – секунда, длины – метр, массы – килограмм, постоянного 17 тока – ампер, термодинамической температуры – кельвин, количества вещества – моль и силы света – кандела.

Для измерения длины, на данный момент, существует один Государственный первичный эталон единицы длины – метра ГЭТ 2 – 2010, который хранится во ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, МАИ – 5 лет и 6 государственных специальных эталонов единицы длины.

По состоянию на апрель 2019 года, в Федеральном информационном фонде по ОЕИ содержится информация примерно о 12 тысячах эталонов измерения длины различных номиналов и классов точности.

В 2014 году утверждены 1928 эталонов длины.

В 2015 году утверждены 3056 эталонов длины.

В 2016 году утверждены 1854 эталона длины.

В 2017 году утверждены 1155 эталонов длины.

В 2018 году утверждены 1361 эталонов длины.

Рис. 1 - Количество утвержденных эталонов по годам

Количество утвержденных эталонов длины за последние 5 лет представлены на рис. 1.

По графику видно, что пиковое значение приходится на 2015 год, что может являться последствием усовершенствования ГПЭ в 2014 году.

Анализ эталонов по межаттестационному интервалу приведен на рис 2.

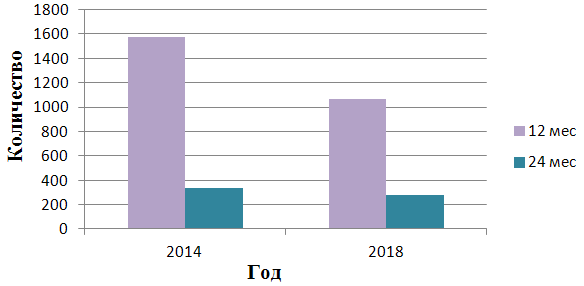


Рис. 2 - Анализ эталонов по межаттестационному интервалу

Проведя анализ по межаттестационному интервалу можно прийти к выводу, что в 2014 у большинства эталонов интервал был равен 12 месяцам, и к 2018 году ситуация не изменилась - количество эталонов с МАИ 12 месяцев больше, чем эталонов с МАИ 24 месяца.

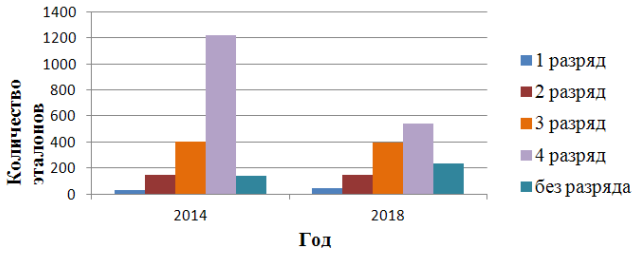


Рис. 2 - Анализ эталонов по межаттестационному интервалу

Анализ эталонов по разрядам приведен на рис. 3.

Проведя анализ эталонов по разрядам можно сделать вывод, что больше всего было утверждено (не рассматривая эталоны без разряда) эталонов четвертого разряда.

Заключение.

Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод, что важность и востребованность единицы длины неуклонно возрастает.

Предложения по модернизации парка средств измерений:

1. Развитие метрологической базы, а не постоянное сохранение и поддержание существующего парка средств измерений.

2. Использование новых методов измерений, что повысит эффективность существующего парка средств измерений.

3. Периодические обновления парка средств измерений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лежнина И.А.* Метрологическое обеспечение производства: учебное пособие; Томский политехнический университет / И.А. Лежнина, А.А. Уваров. − Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 120 с.

2. *Сергеев А.Г.* Метрология и метрологическое обеспечение: учебник. - М.: Высшее образование, 2008. — 575 с.

3. Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» №102-ФЗ от 26.06.2008.

4. ГОСТ Р 8.763-2011 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Государственная поверочная схема для средств измерений длины в диапазоне от 1×10^{-9} до 50 м и длин волн в диапазоне от 0,2 до 50 мкм. Дата введения 01.01.2013.

5) Реестр государственных первичных эталонов России. По состоянию на 23.03.2019.
http://fif.vniiftri.ru/DB/com/index.htm?RU,ETALON.

УДК 621.9.02

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПРОЦЕССА РАСТАЧИВАНИЯ ВНУТРЕННИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ СВАРНЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ РАЗНОРОДНЫХ СТАЛЕЙ

Осминко Дмитрий Александрович,
аспирант,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. Рассмотрены проблемы обеспечения надежности процесса растачивания внутренних цилиндрических отверстий в деталях, сваренных из разнородных сталей, в современном машиностроении с использованием дорогостоящего заграничного оборудования, и на основе этого предлагается надёжный новый способ по растачиванию таких отверстий с использованием инструмента, который позволит повысить точность поверхностного слоя и снизит уровень высокочастотного колебательного процесса во время обработки. Предложенный способ позволит сократить технологический процесс, что как следствие, повысит производительность и позволит изготавливать изделия без использования специализированного дорогостоящего оборудования.

Ключевые слова: растачивание; сварная конструкция; электромагнитный клапан; точность изготовления; лезвийная обработка

THE RELIABILITY OF THE BORING PROCESS THE INNER CYLINDRICAL SURFACES FROM THE DIFFERENT STEEL WELDED PARTS

Osminko Dmitriy Aleksandrovich,
postgraduate student,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. The problems of ensuring the reliability of the process of boring internal cylindrical holes in parts welded from different steels in modern engineering using expensive foreign equipment are considered, and on this basis a reliable new method for boring such holes using a tool that will improve the accuracy of the surface layer and reduce the level of high-frequency oscillatory process during processing is proposed. The proposed method will reduce the technological process, which as a result, will increase productivity and allow to produce products without the use of specialized expensive equipment.

Keywords: drilling; welded construction; solenoid valve; precision manufacturing; cutting edge treatment

В различных отраслях промышленности достаточно широкое применение находят детали с комбинированными поверхностями, состоящие из разнородных конструкционных материалов [10-12].

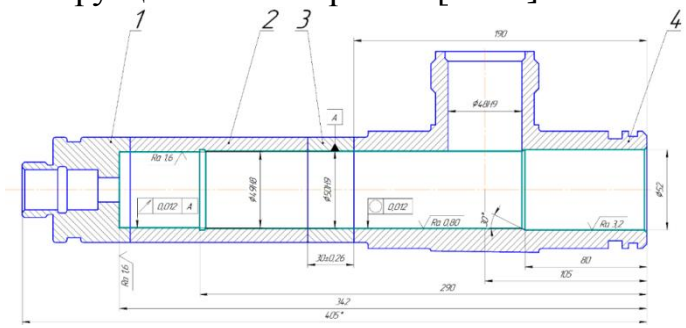


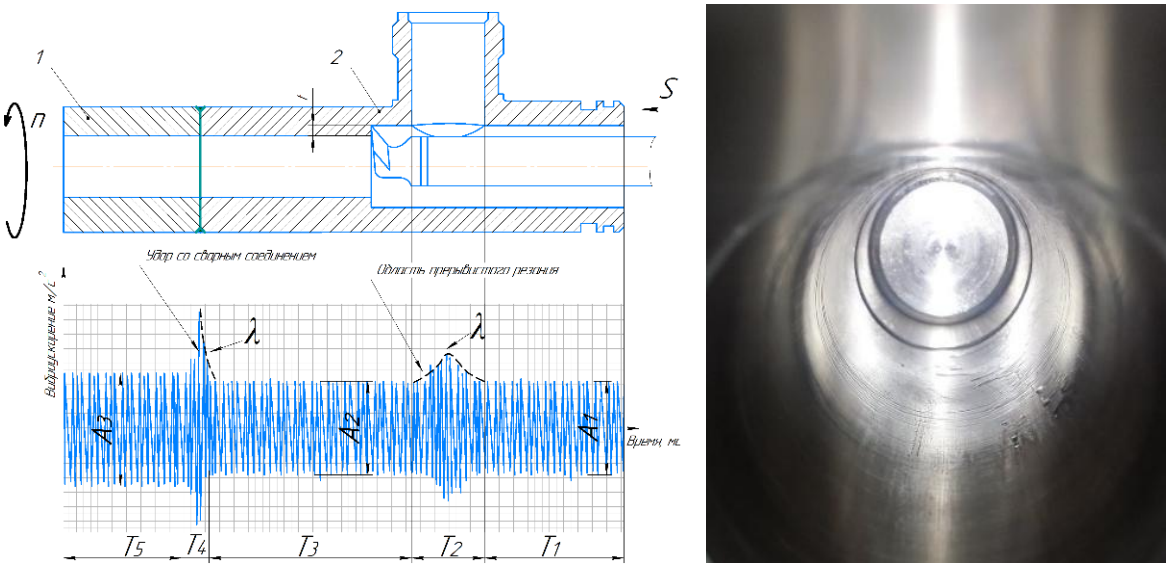
Рис. 1 - Деталь «Втулка» электромагнитного запорного клапана

В изготовлении подобных деталей главной технологической проблемой является инструментальное обеспечение и выбор способа обработки для воспроизводства заданных точностных и качественных показателей [1-6].

Для тепловой, атомной и нефтегазовой промышленности подобные изделия получили распространение в области производства 2-ходовых электромагнитных запорных клапанов, отличающихся взрывозащищенностью и работой в широком диапазоне рабочих давлений, температур и проходных сечений

Деталь «Втулка» электромагнитного запорного клапана (рис. 1) состоит из разнородных материалов, продиктованных конструктивной необходимостью изделия. Деталь изготовляют из сварной конструкции, которая включает в себя: 1 – Сталь 45; 2, 4 – магнитная сталь; 3 – нержавеющая сталь. К ней предъявляются жёсткие технические требования.

Традиционными инструментальными материалами комбинированные поверхности практически не поддаются обработке [12], поэтому требуются дополнительные технологические решения.



а б

Рис. 2 - Схема и результаты испытаний, при растачивании разнородных материалов (а); (б) Глубокие риски на участке из магнитной стали

Предварительные результаты исследования, проведенные на предприятии ООО «ННП Орион» производились на горизонтальном токарном обрабатывающем центре Hyundai WIA L300C с использованием антивибрационного инструмента Silent Tools от компании Sandvik с глубиной резания t = 0.4 мм, оборотами шпинделя n = 650 мин$^{-1}$ и подачей S = 0.08 мм/об.

При растачивании детали «Втулка» возник ряд проблем - при переходе инструмента из одного материала в другой интенсивность колебаний возрастает (рис. 2, а), что характеризуется задирами и возникновением глубоких рисок на зеркале детали «Втулка», затем при переходе границы раздела двух материалов процесс стабилизируется, но поскольку геометрия пластины была выбрана с учётом обработки нержавеющей стали, на участке из магнитной стали возникают участки с высокими значениями шероховатости (рис. 2, б).

Это явление объясняется, во-первых, различной обрабатываемостью двух материалов (1 - сталь электротехническая нелегированная ГОСТ 2590-2006, 2 – сталь нержавеющая 12Х18Н10Т); во-вторых, особенностью выбранного инструмента для растачивания такого отверстия.

При обработке такой разнородной конструкции, не обеспечивается стабильность процесса резания. Возникают силы резания, значительно отличающиеся на каждом из участков, что приводит к потере точности на участке с лучшей обрабатываемостью, за счёт меньшей радиальной составляющей силы резания, чем на первом участке [8, 13, 14, 16]. Растачивание производилось специальной расточной оправкой Silent Tools [7], в основе которой используется одномассовый демпфер, подвешенный на эластичных кольцах, пространство между корпусом и демпфером заполнено специальной жидкостью. Однако при нестабильном резании эффективность такого инструмента резко падает. Это связанно с тем, что инерционное тело не успевает войти в противофазу с колебаниями конца оправки, тем самым не происходит подавление колебаний, а зачастую являются следствием значительного увеличения его интенсивности. Как результат на границе раздела двух разнородных материалов, существует участок с задирами, что недопустимо. На кафедре машиностроения Санкт-Петербургского горного университета создан прототип режущего инструмента для растачивания глубокого отверстия (рис. 3), который позволяет решить эту проблему.

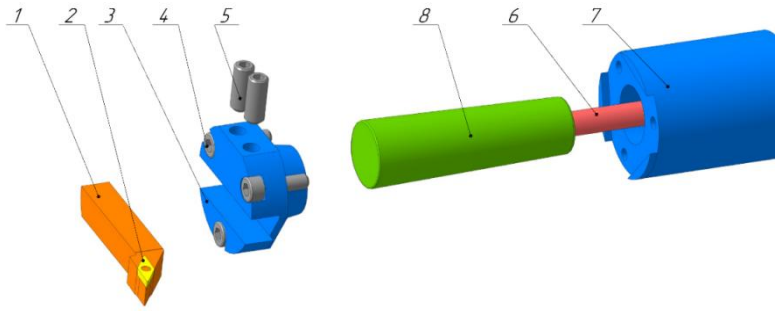


Рис. 3 - Прототип расточной оправки с напряженно-деформированным состоянием

Расточной инструмент представляет из себя полый корпус (7) с закреплённой на три винта (4) резцовой головкой (3), снабженную резцом (1) с режущей пластиной (2). Борштанга состоит из полого корпуса (7), разжимной конус (8) и резьбовой стержень (6).

Посредством закручивания регулировочной гайки с другого конца оправки осуществляется регулирование напряженно-деформированным состояние расточной оправки.

На базе предприятия ООО «НПП «Орион» были проведены производственные испытания по растачиванию разнородной конструкции. В ходе испытаний была сформирована технология и выявлены следующие рекомендации: при относительно небольшом затягивании, в среднем от 43 до 71 Н·м, образовывается достаточно чистая поверхность на протяжении всего участка (Ra 1,2…1,6 мкм) [9-10]. Исходя из полученных данных, можно рекомендовать режимные параметры точения и момент затяжки инструмента для пар разнородных деталей, сваренных между собой для достижения рекомендуемых показателей точности и шероховатости поверхности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Максаров В.В.* Повышение точности изготовления прецизионных поверхностей силовых гидроцилиндров механизированных крепей на основе виброустойчивой инструментальной системы/ Д.А. Осминко, П.В. Леонидов // Металлообработка, 2016, Т. 2(92), С.41-53.
2. *Звонцов И.Ф.* Технологии сверления глубоких отверстий: Учебное пособие / И.Ф. Звонцов, П.П. Серебреницкий, А. Г.Схиртладзе. - СПб.: Издательство «Лань», 2013. - 496 с.
3. *Осминко Д.А.* Анализ методов получения внутренних прецизионных поверхностей гидроцилиндров механизированных крепей / Д.А. Осминко, Ю. Ольт, В.В. Максаров// Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, С.41-49.
4. *Хорошайло В.В.* Повышение виброустойчивости растачивания на токарно-винторезных станках / Технологический аудит и резервы производства. - Харьков: Технологический центр, 2016, Т. 1/1(27), С. 17-21.
5. *Серебреницкий П.П.* Прогрессивная технология растачивания отверстий в трубах из непрецизионных заготовок / П.П. Серебреницкий, И.Ф. Звонцов, А.С. Рассказов [и др.] // Металлообработка, 2014, Т. 6(84), С.15-23.
6. *Тимофеев Д.Ю.* Повышение точности изготовления прецизионных поверхностей детали шток гидроцилиндров / Д.Ю. Тимофеев, А.Е. Ефимов // Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, С. 142-145.
7. Sandvik Coromant Россия / СНГ. Антивибрационный инструмент Silent Tools: Техническое руководство // AB Sandvik Coromant, 2012. - 1020 с.
8. *Фельдштейн Е.Э.* Металлорежущие инструменты: справочник конструктора / Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. – Минск: Новое знание, 2009. – 1039 с.
9. *Важенин А.Ю.* Повышение качества изготовления деталей из титановых сплавов с применением инструмента, обладающего анизотропными свойствами / А.Ю. Важенин, Д.А. Осминко // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME-2017. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, 2017, С.296-297.
10. *Осминко Д.А.* Совершенствование технологии изготовления прецизионных поверхностей силовых гидроцилиндров на основе виброустойчивой инструментальной системы / Д.А. Осминко, В.В. Максаров // Труды Международной научно-технической конференции «МТЕТ-2016». Санкт-Петербург, 2016, С. 94-97.

11. *Ермолаев В.В.* Разработка технологических процессов изготовления деталей машин: учебник для студ. учреждений проф.образования / В.В. Ермолаев, А.И. Ильянов. – М.: Издательский центр «Академия», 2015. – 336 с.
12. *Krasnyy V.* Increase of wear and fretting resistance of mining machinery parts with regular roughness patterns / V. Krasnyy, V. Maksarov, J. Olt // Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium, 2016, Vol. 27, C. 151-156.
13. *Maksarov V.V.* Simulation of dynamic processes when machining transition surfaces of stepped shafts / V.V. Maksarov, R.V. Viushin, V.A. Krasnyy // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 327, C. 022047.
14. *Ольт Ю.* Технологическое обеспечение качества обработки труднообрабатываемых материалов при использовании процесса сегментации стружки / Ю. Ольт, В.В. Максаров // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME-2017. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, 2017, С 289 - 292.
15. *Maksarov V.V.* The formation of surface roughness of piston rings for the purpose of improving the adhesion of wear-resistant coatings / V.V. Maksarov, V.A. Krasnyy // Key Engineering Materials, 2017, Vol. 736, C. 73-78.
16. *Максаров В.В.* Влияние структурных параметров режущей керамики на работоспособность инструмента при обработке прецизионных поверхностей деталей горных машин / В.В. Максаров, А.Д. Халимоненко // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2017, Т. 8 (1), С 56-64.

УДК 622.232:622.331

РЕШЕНИЯ ПО ОСУЩЕСТВЛЕНИЮ ТОРФОДОБЫЧИ ИЗ ОБВОДНЕННОЙ ЗАЛЕЖИ

Пермякова Екатерина Константиновна,
аспирант,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. Торф, как местный вид топлива, является альтернативой углеводородному сырью и имеет все шансы к его замене, особенно в удаленных и труднодоступных регионах страны. Предложена классификация методов и способов добычи торфяного сырья. Из существующих методов допустимо применять методы экскавации и гидромеханизации. Дан анализ технических решений комплексов оборудования для добычи торфяного сырья из торфяной залежи без длительной и трудоемкой подготовки месторождения в рамках климатосберегающих технологий и экологически-нейтральной хозяйственной деятельности. Даны обоснования о перспективности решениях применения шагающих и мостовых комплексов.

Ключевые слова: торф-сырец; методы добычи торфяного сырья; способ добычи; мостовой комплекс

SOLUTIONS FOR THE IMPLEMENTATION OF PEAT EXTRACTION FROM A FLOODED RESERVOIR

Permyakova Ekaterina,
postgraduate student,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. Peat, as a local type of fuel, is an alternative to hydrocarbon raw materials and has every chance to replace it, especially in remote and hard-to-reach regions of the country. A classification of methods and methods for peat extraction is proposed. Of the existing methods, it is permissible to apply the methods of excavation and hydromechanization. The analysis of technical solutions of equipment for the extraction of peat raw materials from peat deposits without long and time-consuming preparation of the field in the framework of climate-saving technologies and environmentally neutral economic activities is given. Given the rationale for the promise of solutions for the use of walking and bridge complexes.

Keywords: raw peat; peat extraction methods; extraction method; bridge complex

По запасам торфа Россия занимает первое место в мире, 47% мировых запасов торфа приходится на ее территорию. Торф, как местный вид топлива, является альтернативой углеводородному сырью и имеет все шансы к его замене, особенно в удаленных и труднодоступных регионах страны, использующих привозные энергоресурсы. В свою очередь использование торфа как топлива, является более экологичным, в связи с меньшим количеством выбросов оксидов серы в атмосферу при его сжигании. Также следует отметить, что сжигание торфа является безотходным процессом, так как торфяная зола далее может быть использована как составляющая минеральных удобрений. Вместе с тем стратегия импортозамещения влечет за собой необходимость расширения сельскохозяйственных производств, что также требует дополнительных объемов добычи торфяного сырья. Все это в общем создает необходимые предпосылки для роста производственных объемов добываемого в стране торфа.

При классификации способов производства торфяной продукции по виду добываемого торфа-сырца из торфяной залежи следует придерживаться иерархической структуры и сначала выделить методы добычи: экскавации – для получения торфа-сырца в виде кусков или комков, гидромеханизации – с получением гидромассы и механического рыхления – для получения торфяной крошки [1]. В свою очередь способы, объединяемые методом экскавации, включают: резной ручной и машинный для получения торфа в виде кусков и экскаваторный, багерный и бульдозерный применение которых обусловливает получение комковатой продукции. Метод гидромеханизации объединяет гидравлический способ, добычу земснарядами и скважинную гидродобычу, т.е. те способы при реализации которых получают и перемещают гидромассу. К методу механического рыхления следует отнести те способы в результате реализации которых получают крошку, а именно, фрезерный, фрезформовочный и любые другие способы производства крошкообразного торфа путем рыхления или фрезерования торфяной залежи. Такая классификация является открытой и позволяет ее дополнять. Фрезформовочный способ, в отличие от багерного, не отнесен к методу экскавации, т.к. в его основе лежит мелкое фрезерование залежи с образованием тонкой стружки, которую в дальнейшем формуют в торфяной кусок, хотя все это и происходит в одной и той же технологической горной машине.

Новые требования времени к широкому применению технологий в рамках экологически-нейтральной хозяйственной деятельности и технологичности полного цикла освоения месторождения от подготовки до рекультивации, делают привлекательными способы добычи торфа, не предусматривающие мероприятий водопонижения при освоении месторождений [2, 3, 4, 5, 6]. При таком подходе возможными к применению остаются только первые два метода – экскавации и гидромеханизации. При этом реализация известных способов в новых условиях требует создания и нового, инновационного оборудования. Рассмотрим некоторые известные решения способов, машин и оборудования под этим углом зрения для

создания основы по выработке инновационных схемных решений комплексов оборудования для добычи торфяного сырья из торфяной залежи без длительной и трудоемкой подготовки месторождения в рамках климатосберегающих технологий и экологически-нейтральной хозяйственной деятельности.

Так, существует ряд изобретений, использующих плавучие основания в виде платформ, оснащенных добычным оборудованием и средствами по переработке добытого торфяного сырья. При этом их конструкции таковы, что обеспечивают круглогодичную добычу, создавая необходимые искусственные условия функционирования оборудования и персонала [7, 8, 9, 10]. Такие проекты весьма привлекательны, они могут реализовывать способы добычи и разработанные на их основе технологии основанные как на методе экскавации, так и гидромеханизации, например А.С. 48160, А.С. 255857 или Патент РФ № 2345223.

Однако большой их недостаток заключается в том, что сами плавучие платформы весьма металлоемки и требуют затрат на подготовку акватории для их спуска для разработки месторождения, а также делает необходимым создавать специальное горное оборудование для комплекса горных технологических машин, реализующих выбранные технологии [2, 11].

Другим привлекательным схемным решением являются способы задействования подвижных или передвигаемых платформ или специальных устройств, с размещенным на них оборудованием для добычи методами, как экскавации, так и гидромеханизации [11, 12, 13, 14]. Такой подход также позволяет реализацию указанных двух методов добычи, например комплекс добычи торфа по патенту РФ № 2304321. Комплекс реализует гидродобычу торфяной пульпы, но предполагает транспортное средство для своего перемещения, что является основным недостатком в условиях труднопроходимых обводненных залежей. Тоже можно сказать о шнековом экскаваторе (Патент № 2450107).

Еще одним перспективным направлением являются устройства с точечными опорами – это шагающие и мостовые комплексы [15]. Основная идея состоит в том, что ферма, оснащенная технологическим оборудованием, опирается по краям на механизмы её передвижения по путевой структуре. Использование мостовых агрегатов позволяет увеличить площадь полезного поля, а также исключает надобности использования большого количества технологических машин и их передвижения по обрабатываемой территории.

Основным направлением разработки технологии добычи торфа мостовым комплексом является путевая система для передвижения и позиционирования комплекса в условиях обводненной залежи. Потенциальны варианты передвижения моста с помощью шагающих или гусеничных механизмов, с возможностью поворота мостового комплекса вокруг оси одного из двух движущих механизмов. Для обеспечения устойчивости крупногабаритного комплекса необходимо формирование системы путей, которая может быть организована с помощью настила плит на установленные сваи, упирающиеся в дно предварительно выработанных

путевых траншей. Мостовой комплекс, имея в арсенале сменное оборудование, необходимое для выработки траншей, забоя свай и установки настила, может обеспечить себя выбором схемных решений выработки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гамаюнов С.Н.* К вопросу о классификации способов добычи торфа / С.Н. Гамаюнов, А.Н. Гамаюнова // Труды Инсторфа, 2015, Т. 11(64), С. 13-18.
2. *Худякова И.Н.* Формирование структуры основного технологического оборудования автономного комплекса для добычи торфа из неосушенного месторождения / И.Н. Худякова [и др.] // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ», 2017, Т. 9(3).
3. *Kokonkov A.A.* Autonomous complex module for peat development on watered deposits / A.A. Kokonkov, D.D. Liakh, S.L. Ivanov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 194, 032011.
4. *Khudyakova I.N.* Raw peat production and processing from flooded fields and approaches to maintain dehydration / I.N. Khudyakova, E.A. Vagapova, S.L. Ivanov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 194, 032010.
5. Направления создания универсальных технологических торфяных машин / А.В. Михайлов [и др.] // Успехи современной науки и образования, 2017, Т. 1(1), С. 69-73.
6. *Михайлов А.В.* Формирование и эффективное использование машинного парка торфодобывающих компаний / А.В. Михайлов, С.Л. Иванов, В.В. Габов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2015, Т. 14, С. 82-91.
7. Пат. 2672366 Российская Федерация, МПК E04H 6/02; B63B 17/02; E04F 10/10; E04H 15/48 ТРАНСФОРМИРУЕМОЕ СООРУЖЕНИЕ / И.Н. Худякова, Д.В. Фадеев, Э.А. Вагапова, С.Л. Иванов, заявитель Санкт-Петербургский горный университет - 2018104765, 07.02.2018, опубл. 14.11.2018 Бюл. № 32.
8. Пат. 2599117 Российская Федерация, МКП E21 C 49/00. Способ разработки торфяных месторождений / С.Л. Иванов, А.В. Михайлов, И.Е. Звонарев, Ю.Ю. Бондарев, А.Г. Таранов, заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский горный университет. - № 2015108533/03, заявл. 11.03.2015, опубл. 10.10.2016 Бюл. № 28.
9. Пат. 2651721 Российская Федерация, МПК C10F 7/02 Технологический модуль первичной переработки / А.А. Коконков, Д.Д. Северикова, С.Л. Иванов, заявитель Санкт-Петербургский горный университет - 2017122661, 27.06.2017, опубл. 23.04.2018 Бюл. № 12.
10. Пат. 2655235 Российская Федерация, МПК B63B 35/44, B63H 19/08, B63B 35/34, B63B 3/08, E21C 49/00 Плавучая платформа / Д.В. Фадеев, И.Н. Худякова, И.Е. Звонарев, С.Л. Иванов, заявитель Санкт-Петербургский горный университет - 2017116467, 11.05.2017, опубл. 24.05.2018 Бюл. № 15.

11. *Коконков А.А.* Оценка нагрузок при измельчении торфяного сырья естественного влагосодержания роторной дробилкой / А.А. Коконков, Д.Д. Северикова, С.Л. Иванов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2017, Т. 10, С.43-48.
12. *Вагапова Э.А.* К вопросу о первичном обезвоживании торфяного сырья добытого гидромеханизированным способом / Э.А. Вагапова, И.Н. Худякова, С.Л. Иванов // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: 14-я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики, 2018, С. 230-234.
13. *Вагапова Э.А.* Сравнительная оценка магнитного воздействия на интенсивность процесса водоотделения при добыче и переработке топливного торфяного сырья обводненных месторождений / Э.А. Вагапова, И.Н. Худякова, С.Л. Иванов // Материалы международной научно-практической конференции «Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация». Санкт-Петербург, 2018, Т. 1, С. 158-160.
14. Пат. 2637346 Российская Федерация, МПК E21C49/00, C10F7/08, C10F5/02 Способ разработки торфяных месторождений / А.В. Михайлов, В.В. Габов, С.Л. Иванов, А.А. Гашокина, Н.Б. Максимчук, заявитель Санкт-Петербургский горный университет - 2016142258, 26.10.2016, опубл. 04.12.2017 Бюл. № 34.
15. Пат. 2684269 Российская Федерация, МПК E21C 49/02 Способ добычи торфа и устройство для его реализации / С.Л. Иванов, И.П. Тимофеев, Е.А. Родионов, М.С. Столярова, заявитель Санкт-Петербургский горный университет - 2018123253, 26.06.2018, опубл. 04.04.2019 Бюл. № 10.

УДК 621.31

СНИЖЕНИЕ КОММУТАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ В СИЛОВОМ КЛЮЧЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АКТИВНОЙ ДЕМПФИРУЮЩЕЙ ЦЕПИ

Петров Илья Сергеевич,
аспирант,
Санкт-Петербургский горный университет, кафедра электронных систем

Аннотация. Описаны пути снижения коммутационных потерь в силовых транзисторах ключевых высокочастотных преобразователей. Рассмотрены возможности совершенствования транзисторной ячейки за счет использования активной демпфирующей цепи.

Ключевые слова: высокочастотный преобразователь; коммутационные потери; демпфирующая цепь; транзистор; нулевое напряжение

REDUCTION OF COMMUTATION LOSSES IN THE POWER KEY OF THE HIGH-FREQUENCY CONVERTER BY THE USE OF ACTIVE DAMPING CIRCUIT

Petrov Ilya Sergeevich,
postgraduate student,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Electronic systems

Abstract. The ways of reducing switching losses in power transistors of key high-frequency converters are described. The possibilities of improving the transistor cell due to the use of an active damping circuit are considered.

Keywords: high-frequency converter; switching losses; damping circuit; transistor; zero voltage

Снижение коммутационных потерь в силовых транзисторах ключевых высокочастотных преобразователей может быть достигнуто двумя путями. Первый их них предполагает совершенствование самой транзисторной ячейки и цепей ее управления путем подключения к силовому транзистору вспомогательных цепей для повышения скорости переключений и обеспечения «мягкой» коммутации, т.е. коммутации при нулевом напряжении на транзисторе (ZVS – zero voltage switching) или при нулевом токе транзистора (ZCS – zero current switching). Второй путь связан с выбором благоприятного момента для переключения транзисторов в

конкретной преобразовательной схеме, причем переключение тока с одной транзисторной ячейки на другую организуется как единый оптимальный процесс.

Оба подхода широко применяются при разработке преобразователей, причем первый используется, как правило, в преобразователях с широтно-импульсной модуляцией, а второй – в резонансных инверторах [1-3].

Простейшей демпфирующей цепью, снижающей коммутационные потери за счет уменьшения скорости нарастания напряжения при выключении транзистора, является RCD-цепь.

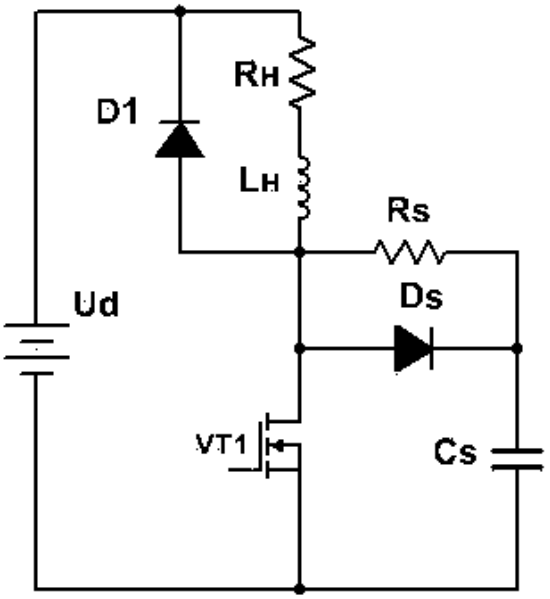


Рис. 1 – Силовой транзисторный ключ с RCD-демпфирующей цепью

На рис. 1 показан силовой транзисторный ключ с RCD-демпфирующей цепью.

Для того чтобы уменьшить потери, связанные с энергией, запасаемой в демпфирующем конденсаторе при выключении силового транзистора, была предложена схема RCDT-демпфирующей цепи (рис. 2).

В отличие от RCD-демпфирующей цепи последняя дополнительно содержит повышающий трансформатор и диод, что позволяет рекуперировать энергию, запасенную в демпфирующем конденсаторе, в источник питания.

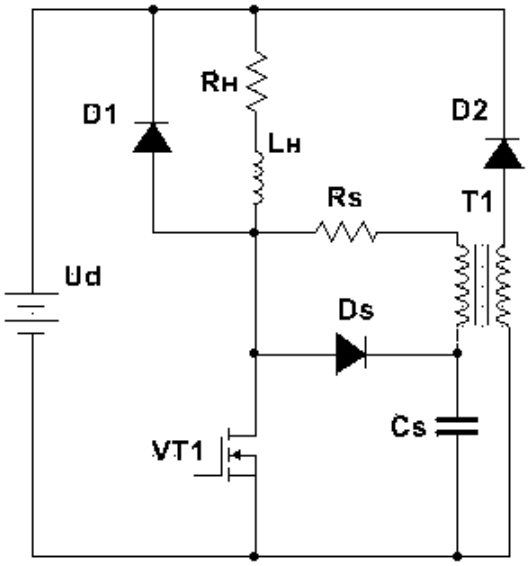


Рис. 2 – Схема RCDT-демпфирующей цепи

Пассивные RCD- и RCDT-демпферы снижают коммутационные потери при выключении, но не обеспечивают «мягкого» включения силового транзистора, т.к. в момент включения напряжение на нем равно напряжению источника питания.

Работа силового транзистора с практически нулевыми коммутационными потерями, может быть обеспечена активной демпфирующей цепью, содержащей полевой транзистор.

В такой цепи для обеспечения включения силового транзистора при нулевом напряжении, т.е. когда течет ток через его обратный диод,

используются вспомогательный транзистор и ряд вспомогательных элементов. В качестве вспомогательного транзистора желательно использовать MOSFET-прибор, поскольку он обладает высоким быстродействием. Для рекуперации энергии, накопленной в демпфирующем конденсаторе, так же, как в RCDT-цепи, используется повышающий трансформатор с диодом, который включен последовательно с вторичной обмоткой трансформатора и источником постоянного напряжения.

Таким образом, обеспечивается «мягкая» коммутация силового транзистора, т.е. его включение и выключение происходит при нулевом напряжении. При этом коммутационные потери в нем практически равны нулю, что позволяет загружать силовой прибор, учитывая только потери от тока прямой проводимости прибора.

Данные проблемы особенно эффективны для электротехнологии, в особенности при использовании индукционных нагревателей [5-7].

Потери в активной демпфирующей цепи определяются в основном потерями во вспомогательном полевом транзисторе и также невелики, поскольку для вспомогательного полевого транзистора тоже обеспечивается условие «мягкой» коммутации, т.е. он включается и выключается при нулевом токе. Потери во вспомогательном полевом транзисторе зависят, преимущественно, от потерь от прямой проводимости транзистора, т.е. для MOSFET-прибора – от сопротивления открытого состояния.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Добуш В.С.* Особенности возникновения и распространения высших гармоник в электрических сетях / В.С. Добуш // Современная наука и практика, 2015, Т. 2 (2), С. 9-12.

2. *Шклярский Я.Э.* Влияние энергетических характеристик нелинейной нагрузки на определение параметров электрической сети / Я.Э. Шклярский, В.С. Добуш // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, 2012, Т. 4 (159), С. 77-80.

3. *Белицкий А.А.* Исследование высших гармоник в электрической сети социально-значимого объекта / А.А. Белицкий // В сборнике: Модернизационный вектор развития науки в XXI веке: традиции, новации, преемственность сборник научных статей по итогам международной научно-практической конференции. НОУ ДПО «Санкт-Петербургский институт проектного менеджмента», 2016, С. 125-127.

4. *Птицын Д.В.* Влияние тока сложной формы на процессы в нагревательных элементах / Д.В. Птицын, Е.В. Птицына, А.Б. Кувалдин // Россия молодая: передовые технологии – в промышленность!, 2015, Т. 1, С. 258-262.

5. *Птицына Е.В.* Методики моделирования устройств автоматического регулирования спектра частот и амплитуды напряжения установок с питанием током сложной формы / Е.В. Птицына, Д.В. Птицын, А.Б. Кувалдин // Омский научный вестник, 2017, Т. 3(153), С. 58-63.

6. *Растворова И.И.* Метод совместного моделирования электрических

цепных и полевых задач в теории индукционного нагрева / И.И. Растворова, В.Б. Демидович // Электротехника, 2014, Т. 8, С. 63-67.
7. *Петров И.С.* Применение СВЧ энергии для электромагнитной обработки материалов / В сборнике «Перспективы развития российской науки», 2017, С. 45-48.

УДК 622.692.4.053

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ, ДИАМЕТРА И МАРКИ СТАЛИ ГАЗОПРОВОДА НА ИНТЕНСИВНОСТЬ РАЗВИТИЯ КОРРОЗИОННОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ

Понкратова Валерия Викторовна,
группа НТМ-18,
Санкт-Петербургский горный университет

Аннотация. В данной статье проведен анализ влияния геометрических параметров, в частности диаметра, материала и внутреннего давления трубопроводов на интенсивность развития стресс-коррозионных трещин на основании статистических данных и практических расчетов, согласно нормативно-технической документации.

Ключевые слова: стресс-коррозия; коррозионное растрескивание под напряжением (КРН); скорость коррозии; магистральные газопроводы; рабочее давление; диаметр газопровода; марка стали

EFFECT OF PRESSURE, DIAMETER AND STEEL GRADE OF THE PIPELINE ON THE INTENSITY OF DEVELOPMENT STRESS-CORROSION CRACKING

Ponkratova Valeriya Viktorovna,
group NTM-18,
Saint-Petersburg MiningUniversity

Abstract. This article analyzes the influence of geometric parameters, in particular the diameter, material and internal pressure of pipelines on the intensity of stress-corrosion cracks on the basis of statistical data and practical calculations, according to regulatory and technical documentation.

Keywords: stress corrosion; stress corrosion cracking; corrosion rate; main gas pipelines; operating pressure; diameter of the pipeline; steel grade

Коррозионное растрескивание под напряжением (КРН) на магистральных газопроводах является одной из основных причин их разрушения в последнее время [1, 2]. Однако на магистральных нефтепроводах данное явление встречается редко [3].

Согласно проведенному анализу статистики аварий на трубопроводах за 4 года (с 2014 по 2017 г.) [4] подтвердил известный факт, что воздействию КРН подвержены трубы большого диаметра (1020 – 1420 мм), на

трубопроводах диаметром 530 – 1020 мм такие дефекты диагностируются гораздо реже [5, 6, 7].

Для исследования зависимости интенсивности коррозии от диаметра трубопровода были взяты трубы, которые наиболее часто подвергаются коррозионному растрескиванию под напряжением: с диаметром d_1 = 1020 мм (δ_1 = 12 мм), d_2 = 1220 мм (δ_2 = 14 мм), d_3 = 1420 мм (δ_3 = 15,7 мм) [8]. Исходные данные, используемые для расчетов, общие для всех труб: p = 5,4 МПа, σ_m = 343 МПа для стали 17Г1С, первоначальная длина трещины $l_{тр}$ = 6 мм, абсолютная температура T = 293 К [9].

Кинетика стресс-коррозии при наличии на трубопроводе только кольцевых напряжений описывается с помощью эффективной скорости роста трещин $\upsilon_{эфф}$, определяемой по формуле (1), мм/год [10]:

$$n_{эфф} = \frac{p \cdot D_{вн} \cdot l_{тр}}{2s_m \cdot (t_{разр} - b) \cdot l} e^{\frac{-Э_{акт}}{RT}} \qquad (1)$$

где p – давление продукта в трубопроводе, МПа; $D_{вн}$ – внутренний диаметр трубопровода, мм; $l_{тр}$ – длина трещины на стадии развития, мм; σ_m – предел текучести стали, МПа; $t_{разр}$ – время до разрушения, лет; b – длительность образования коррозионно-активной среды, лет (~0,5 лет [10]); δ – толщина стенки трубы, мм; $Э_{акт}$ – энергия активации процесса КРН, Дж/моль (~22000 Дж/моль [10]); R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К) (8,31 Дж/(моль·К)); T – абсолютная температура, К.

Анализируя построенный график зависимости эффективной скорости коррозии от диаметра трубопровода, было выявлено, что они находятся практически в прямой зависимости: чем больше диаметр, тем выше скорость. Однако, если увеличивать толщину стенки трубы, то скорость роста трещин будет снижаться [11]. Было определено, что увеличение диаметра трубопровода на 200 мм способствует увеличению скорости роста трещин всего на $0{,}6 \cdot 10^{-6} – 0{,}9 \cdot 10^{-6}$ мм/год.

Зависимость скорости роста трещин от внутреннего давления также определяется из уравнения 1. Принятые давления в трубопроводах равны: p_1 = 5,4 МПа, p_2 = 6 МПа, p_3 = 7,5МПа; d = 1420 мм, δ = 15,7 мм, σ_m = 343 МПа для стали 17Г1С, первоначальная длина трещины $l_{тр}$ = 6 мм, абсолютная температура T = 293 К.

По результатам расчетов строится график зависимости эффективной скорости коррозии от давления в трубопроводе. С увеличением внутреннего давления итоговое раскрытие трещины возрастает, трещина раскрывается более интенсивно при постоянстве остальных параметров [12].

За критерий чувствительности стали к КРН принимается энергия активации, т.е. энергетический барьер, который необходимо преодолеть для начала развития процесса КРН [10]. Для определения зависимости скорости роста стресс-коррозионных трещин от материала трубопровода формула (1)

умножается на коэффициент чувствительности стали к данному виду растрескивания $k_{чс}$, определяемый по формуле (2):

$$k_{чс} = \frac{1}{1{,}38 - 7{,}29 \cdot 10^{-9} \cdot \sigma_{0,2}^{3}}, \qquad (2)$$

где $\sigma_{0,2}$ – условный предел текучести стали, МПа.

Расчетами определялась эффективная скорость роста трещины $v_{эфф}$. Для сталей контролируемой прокатки группы прочности Х70 она оказалась намного выше, чем для умеренно упрочненных сталей (17Г1С) [13, 14, 15].

Исследуя зависимость скорости роста стресс-коррозионных трещин от диаметра, давления и материала трубопровода, было выявлено следующее: КРН подвержены в основном трубопроводы диаметром 1020 – 1420 мм. В диапазоне данных диаметров скорость роста трещин увеличивается, но совсем незначительно (на $0{,}6 \cdot 10^{-6}$ - $0{,}9 \cdot 10^{-6}$ мм/год).

Изменение скорости КРН на трубопроводах разного давления более заметно: при росте давления на 2 МПа скорость увеличилась на $9 \cdot 10^{-6}$ мм/год.

Влияние марки стали (степени прокатки) оказалось самым существенным: разница между эффективной скоростью роста трещин для стали контролируемой прокатки Х70 и умеренно упрочненной прокатки 17Г1С составила $13{,}9 \cdot 10^{-6}$ мм/год.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Еремин Д.В.* Анализ и классификация дефектов магистральных газопроводов / Д.В. Еремин, Ф.Ф. Иванов // Вестник Сургутского государственного университета, 2013, Т. 2, С.13-19.
2. *Орлов П.С.* Причины аварий на подземном трубопроводном транспорте и современные методы их устранения / П.С. Орлов, В.С. Шкрабак, Л.А. Голдобина, Е.С. Попова // Аграрный научный журнал, 2015, Т. 6, С. 59-64.
3. *Овчаров С.В.* О некоторых методах оценки частоты аварий на магистральных трубопроводах при расчете пожарного риска / Безопасность труда в промышленности, 2011, Т. 2, С. 61-69.
4. Годовой отчет о деятельности федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2014 - 2017 годах. http://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/.
5. *Базилевский А.А.* Стресс-коррозия в трубах разного диаметра при дефектоскопии магистральных газопроводов / А.А. Базилевский, Г.С. Корзунин, А.Ф. Матвиенко // Дефектоскопия, 2017, Т. 1, С. 71-77.
6. *Назарова М.Н.* Риск-ориентированный подход к обеспечению безопасной эксплуатации газопроводов системы газораспределения / М.Н. Назарова, В.В. Понкратова // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2019, Т. 7, С. 484-489.

7. *Велиюлин И.И.* Исследование развития стресс-коррозионных трещин / И.И. Велиюлин, А.Е. Зорин // Территория нефтегаз, 2010, Т. 5, С. 24–25.
8. *Докутович А.Б.* О возможности прогнозирования различных видов стресс-коррозионных повреждений магистральных газопроводов ПАО «Газпром» / А.Б. Докутович, С.В. Коваленко, А.Н. Кузнецов // Вести газовой науки, 2016, Т. 3, С.64-78.
9. *Ilinykh M.V.* Assessment of technical condition of underwater transitions of main pipelines in real / M.V. Ilinykh, M.N. Nazarova, E.V. Akimova, A.G. Palaev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 194(7), 072003.
10. *Akhmetov R.R.* Research of main gas pipeline (steels X65, X60, 17G1S) susceptibility to stress corrosion cracking, hydrogen uptake and ST37-2 steel farigue testing / R.R. Akhmetov, S.A. Krainov, M.N. Nazarova, A.N. Tsenev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 194(4), 042018.
11. *Nazarova M.N.* Temperature factors effect on occurrence of stress corrosion cracking of main gas pipeline / M.N. Nazarova, R.R. Akhmetov, S.A. Krainov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 87(6), 062011.
12. *Понкратова В.В.* Анализ методов внутритрубной диагностики стресс - коррозионных дефектов магистральных газопроводов /// В сборнике материалов VIII Международной научно-практической конференции обучающихся, аспирантов и ученых «Опыт, актуальные проблемы и перспективы развития нефтегазового комплекса» в 2 томах, 2018, С. 67-71.
13. *Назарова М.Н.* Влияние химических элементов на формирование структуры сварного шва с последующей склонностью к образованию стресс-коррозионных трещин / М.Н. Назарова, В.В. Понкратова // Сборник научных трудов XI Международной научно-технической конференции «Современные проблемы машиностроения», 2017, С. 29-32.
14. *Самигуллин Г.Х.* Оценка поврежденности металлических элементов нефтегазовых объектов микрообразцовым методом / Г.Х. Самигуллин, М.Н. Назарова, Л.Г. Самигуллина, Г.А. Юсупов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2016, Т. 6, С. 311-320.
15. *Хафизов А.Р.* О роли строительных и металлургических дефектов в разрушении магистральных трубопроводов / А.Р. Хафизов, М.Н. Назарова, А.Н. Ценев, Н.К. Ценев // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов, 2017, Т. 7(3), С. 24-31.

УДК 389.14 - ОТИ

АНАЛИЗ ЭТАЛОННОЙ БАЗЫ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ РАСХОДА ГАЗА

Пономарева Арина,
группа МО-16,
Санкт-Петербургский горный университет

Аннотация. Газ в России и других странах СНГ является базовым энергоносителем, являющимся источником других видов энергии – электрической и тепловой. Важнейшей задачей газовой промышленности является измерение расхода газа. Учет количества вещества невозможен без средств измерений расхода. В работе произведен анализ эталонной базы и средств измерений для расхода газа.

Ключевые слова: эталон; анализ; эталонная база; расход газа; расходомеры

ANALYSIS OF THE REFERENCE BASE AND MEASUREMENT MEANS FOR GAS FLOW

Ponomareva Arina,
group MO-16,
Saint-Petersburg Mining University

Abstract. Gas in Russia and other CIS countries is the basic energy carrier, which is the source of other types of energy - electrical and thermal. The most important task of the gas industry is to measure the flow of gas. Accounting for the amount of a substance is impossible without means of flow measurement. The paper analyzes the reference base and measuring instruments for gas flow.

Keywords standard; analysis; reference base; gas consumption; flow meters

Эталонная база Российской Федерации включает в себя систему государственных первичных эталонов, которые воспроизводят единицы величин с наивысшей точностью, достижимой при существующих научно-технических возможностях в данной области измерений. В настоящее время эталонная база Российской Федерации насчитывает 164 государственных первичных эталона единиц величин. Проанализируем количество утвержденных эталонов расхода газа за последние 5 лет.

В 2014году утверждено 70 эталонов расхода газа.

В 2015 году утверждено 201 эталон расхода газа.

В 2016 году утверждено 103 эталона расхода газа.

В 2017 году утверждено 60 эталон расхода газа.

В 2018 утверждено 111 эталонов расхода газа.

ГЭТ 118-2017 находится во главе государственной поверочной схемы, обеспечивая единство измерений объемного и массового расходов газа в Российской Федерации, хранящийся в ФГУП «ВНИИР». Межаттестационный интервал 4 года.

Рис. 1 – Состав ГЭТ 118-2017

Проанализировав эталоны по межаттестационному интервалу за период с 2016 по 2018 год, можно сделать вывод, что количество эталонов с МАИ равным 12 и 24 месяца увеличилось в 2018 году по сравнению с 2016 годом. Также больше всего эталонов расхода газа 1 разряда: в 2016 году - 71 шт. (из 103), 2017 - 41 шт. (из 60), 2018 - 89 шт. (из 111).

Для измерения расхода газа используются различные виды расходомеров: ультразвуковые, тепловые, массовые, турбинные, термоанемометрические, термомассовые, ротационные и другие. По количеству утвержденных средств измерений, производящих учет газа, больше всего ультразвуковых расходомеров.

Ультразвуковыми расходомерами называют расходомеры, принцип работы которых основан в прохождении ультразвуковой волны через поток жидкости или газа.

По межповерочному интервалу больше всего расходомеров с МПИ равным 4 года. А страна-изготовитель, производящая наибольшее количество ультразвуковых расходомеров - Бельгия.

Основной проблемой коммерческих отношений при поставках газа является дисбаланс, возникающий при физическом учете объема газа от поставщика к потребителю.

Основные факторы, определяющие возникновение дисбаланса в учете газа:

- Погрешности в измерении объема газа;

- Отсутствие достоверного учета газа;
- Потери газа.

Для решения этих проблем необходимо развивать эталонную базу и создавать средства измерения более высокой точности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 8.618-2014 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Государственная поверочная схема для средств измерений объемного и массового расходов газа. - М.: Стандартинформ, 2015. - 5 с.
2. Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» №102-ФЗ от 26.06.2008.
3. Реестр государственных первичных эталонов России. По состоянию на 22.03.2018.
http://fif vniiftri.ru/DB/com/index.htm?RU,ETALON.
4. Реестр утвержденных типов средств измерений. По состоянию на 01.02.2018.
http://www.fundmetrology.ru/10_tipy_si/11/7list.aspx.
5. Реестр утвержденных эталонов единиц величин. По состоянию на 13.04.2018.
http://fif.vniiftri.ru/DB/com/index.htm?RU,REEST_EV.

УДК 622.271.325

ТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА RAIL-VEYOR. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Попова Юлия Михайловна,
группа ГТС-15,
Санкт-Петербургский горный университет

Аннотация. Статья посвящена рассмотрению задачи, направленной на обоснование применения новой транспортной системы конвейерных поездов, разработанных канадской компанией «Rail-Veyor». В публикации рассматривается конструкция, технические характеристики и особенности применения конвейерных поездов.

Ключевые слова: конвейерный поезд; конвейер; поезд; приводная станция; электродвигатели; тяговое усилие; устройства для загрузки и разгрузки; железнодорожные пути, радиус закругления, угол наклона, объем секции

ТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА RAIL-VEYOR. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Popova Yulia Mikhailovna,
group GTS-15,
Saint-Petersburg Mining University

Abstract. The article is devoted to the consideration of the problem aimed at justifying the use of a new transportation system of conveyor trains developed by the Canadian company Rail-Veyor. The article discusses the design, technical characteristics and features of the use of conveyor trains.

Keywords: conveyor train; conveyor; train; drive station; electric motors; traction effort; loading and unloading devices; railway tracks; radius of curvature; angle of inclination; section volume

Система конвейерных поездов представляет собой отдельные участки грузонесущего полотна, которые движутся по рельсам с помощью промежуточных приводов, установленных стационарно на трассе. В отличие от ленточных конвейеров у конвейерных поездов отсутствует перекатывание грузонесущего полотна по роликам, за счёт чего реализуются высокие скорости движения и увеличивается срок службы грузонесущего полотна. В пунктах разгрузки и загрузки поезда движутся с небольшой скоростью. Загрузка горной массы может осуществляться непрерывно. Поэтому устройства для загрузки конвейерных поездов не отличаются от устройств

для загрузки конвейеров.

Ещё в 1967 году на одном из меднорудных горных предприятий, расположенных в штате Мичиган, были проведены промышленные испытания конвейерных поездов, разработанных существовавшей в то время компанией «Дешевейер» (рис. 1). Однако конвейерные поезда компании «Дешевейер» так и не получили распространения. В них использовался нестационарный собственный привод, что усложняло конструкцию поезда, тем самым повышая его стоимость и соответственно затраты на эксплуатационные расходы.

Рис. 1 – Конвейерный поезд, разработанный компанией «Дешевейер» (1967 г.)

Отличительной чертой новой системы конвейерных поездов, разработанных канадской компанией «RAIL-VEYOR», является использование стационарных приводов, расположенных по трассе (рис. 2).

Передача тягового усилия составу производится за счёт фрикционного воздействия резиновых автомобильных шин на боковые пластины вагонеток. Трасса для системы конвейерных поездов Rail-Veyor может быть изгибающейся и в плане, и в профиле.

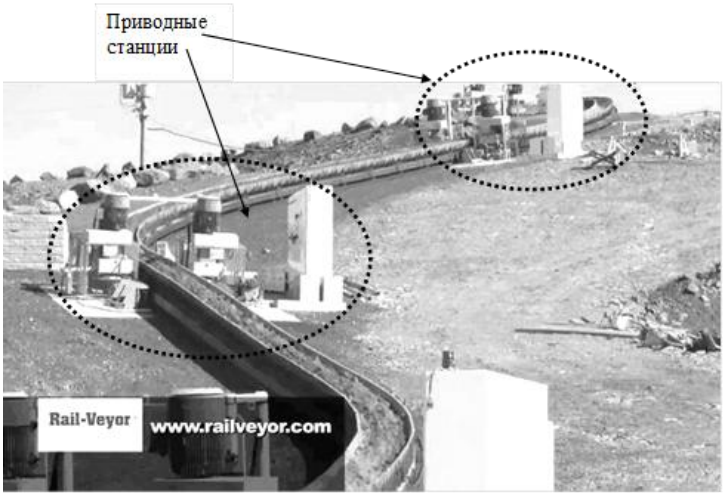


Рис. 2 – Трасса конвейерного поезда Rail-Veyor

Угол наклона трассы в вертикальной плоскости составляет 20%, а радиус закругления составляет минимум 30 метров. Данная система достаточно компактна, что позволяет использовать её в подземных условиях.

Скорость движения конвейерного поезда достигает 36 км/ч (10 м/с), каждая секция (движимая на двух колесах) может вмещать до 3 тонн, количество секций в поезде технически не ограничено.

За счет чего приводится в движение транспортная система конвейерных поездов Rail-Veyor? Электродвигатели приводят в движение горизонтальные колёса, которые соприкасаются с боковыми пластинами, таким образом, происходит перемещение конвейерного поезда (рис. 3).

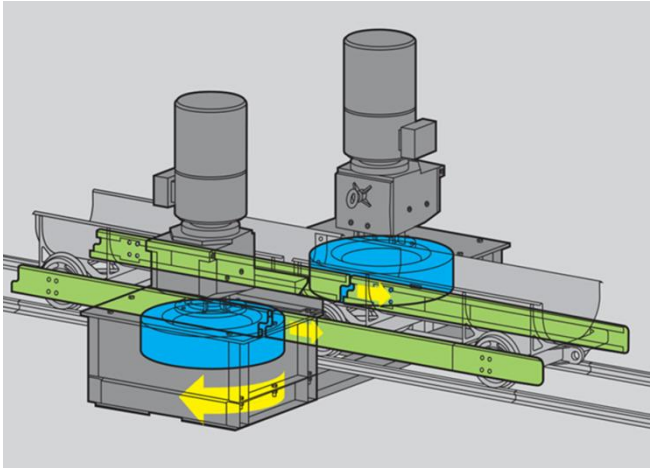


Рис. 3 – Приводная станция системы Rail-Veyor

Приводная станция данной системы может располагаться как вертикально, так и горизонтально. При подземных горных работах (в условиях ограниченности пространства) целесообразно расположить приводную станцию горизонтально.

Проложение железнодорожных путей для поезда фирмы Rail-Veyor занимает относительно немного времени.

Это объясняется тем, что в данной системе используется облегченная конструкция рельс (что позволяет не терять время на проложение нескольких слоёв грунта для железнодорожных путей), а также облегченные стальные шпалы устанавливаются просто и быстро, а рельсы соединяются друг с другом с помощью соединительных накладок и болтов.

Конструкция быстро-сборочная, что очень удобно в подземных условиях при наращивании ж/д путей. Например, команда из 6 человек может установить 37 метров пути за 1 час.

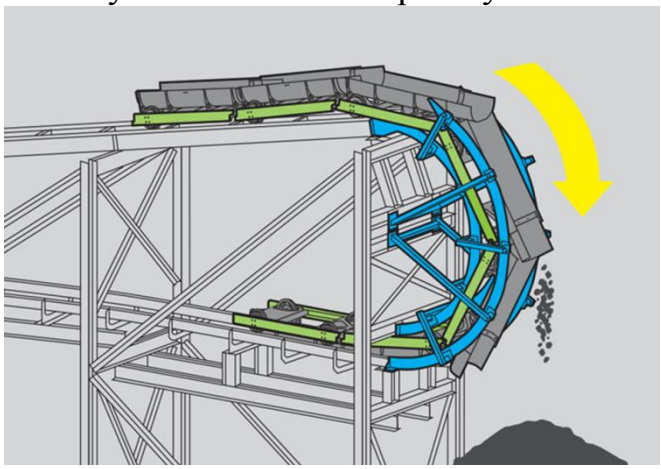


Рис. 4 – Разгрузочная станция конвейерного поезда Rail-Veyor

Как происходит разгрузка конвейерного поезда?

Пути конвейерного поезда преобразуются в петлю, а особая конструкция секций конвейерного поезда позволяет горной породе скатываться под тяжестью собственного веса (рис. 4).

В чем заключается главный недостаток системы конвейерных поездов Rail-Veyor?

Недостатком этой системы является громоздкость разгрузочной станции.

Разгрузочные станции могут быть сконструированы в виде одной кругообразной петли или двух петель, похожих на знак бесконечности:

- Разгрузочная станция в виде одной петли;
- Разгрузочная станция с двумя петлями.

На графике (рис. 5) наглядно можно оценить как снижаются затраты на каждый километр пути при увеличении пути (в данном случае) до 10 км. Зависимость для системы Rail-Veyor представлена ярко-жёлтым цветом. По сравнению с другими видами транспорта она является наиболее выгодной.

Система Rail-Veyor способна перевозить грузы любой абразивности, как сыпучие, так и штучные, имеет очень низкий коэффициент

сопротивления движению и допускает возможность применения разветвленной сети с развилками и пересечениями, что очень удобно, например, при транспортировке разных фракций горной породы.

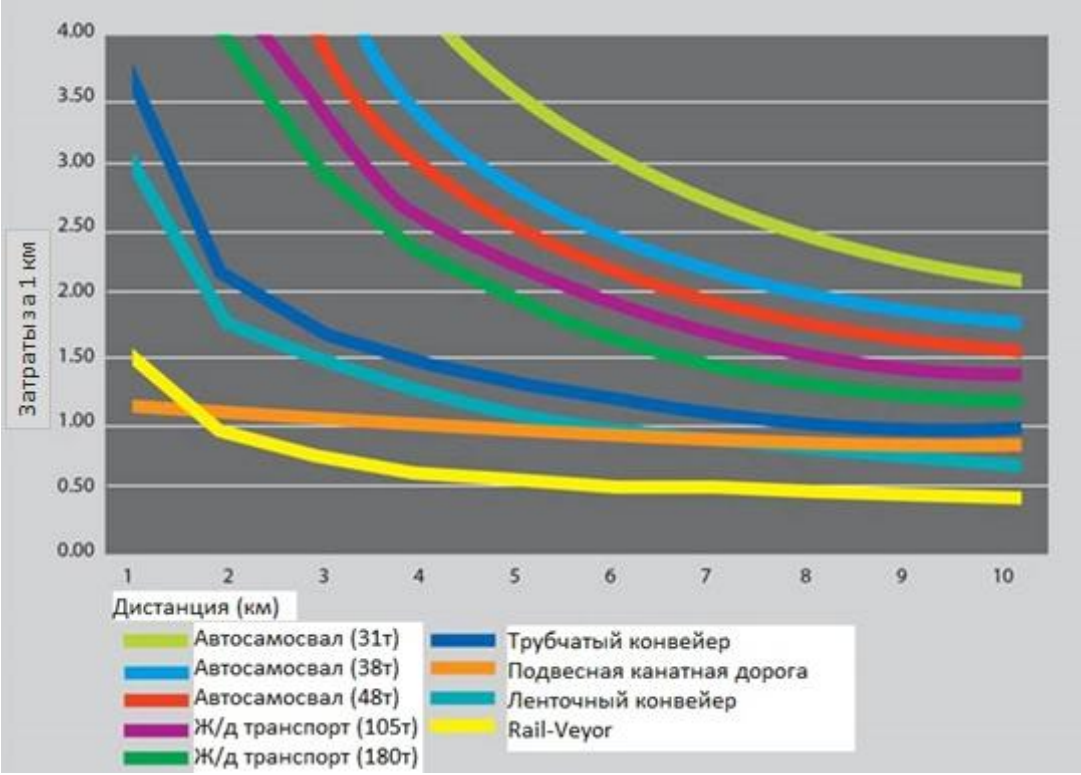


Рис. 5 – График зависимости сравнения затрат транспортной единицы на расстоянии до 10 км

Также данная система конвейерных поездов не боится снежных северных зим, поезд сам расчищает перед собой заметенный снегом путь.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Васильев М.В.* Конвейеры большой протяженности на открытых горных работах / М.В. Васильев, В.С. Волотковский, Г.Д. Кармаев. - М.: Недра, 1977.
2. *Мулухов К.К.* Транспортные машины на горных предприятиях США. - М.: Недра, 1981.
3. Транспортная система Rail-Veyor.
https://www.railveyor.com/.
4. Конвейерные поезда.
http://www.mining-enc.ru/k/konvejernyj-poezd/.

УДК 622.236.22

ПОИСК УТЕЧЕК ПРИРОДНОГО ГАЗА В СЕТЯХ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ГАЗОПОТРЕБЛЕНИЯ

Прохоров Дмитрий Алексеевич,
группа НТМ-18,
Санкт-Петербургский горный университет

Аннотация. Вопрос по сокращению потерь природного газа в сетях газораспределения и газопотребления остается открытым. Ежегодно разрабатываются новые нормативные документы по расчету предполагаемых утечек газа, однако единой методики, учитывающей негативное влияние всех внешних и внутренних факторов при транспортировке газа до сих пор нет. Решение данной проблемы позволит не только сохранить количество транспортируемого газа, но и сделает процесс его транспортировки более безопасным.

Ключевые слова: транспорт природного газа; сеть газораспределения; сеть газопотребления; утечки; газовое оборудование; газораспределительная организация

FINDING NATURAL GAS LEAKS IN GAS DISTRIBUTION NETWORKS AND GAS CONSUMPTION

Prokhorov Dmitry Alexeevich,
group NTM-18,
Saint-Petersburg Mining University

Abstract. The issue of reducing natural gas losses in gas distribution and gas consumption networks remains open. Every year, new regulatory documents are developed for the calculation of alleged gas leaks, but there is still no single methodology that takes into account the negative impact of all external and internal factors in the transportation of gas. The solution of this problem will not only save the amount of transported gas, but also make the process of its transportation safer.

Keywords: natural gas transportation; gas distribution network; gas consumption network; leaks; gas equipment; gas distribution organization

Анализируя основные места возникновения утечек [1, 3, 6], можно выделить наиболее характерные причины, вызывающие утечки [2, 4-6, 8]: коррозия труб; неисправности резьбовых и сварных соединений; повреждения запорной арматуры или неплотность; нарушения при монтажных работах (сварки и т.д.) [7, 15] (рис. 1).

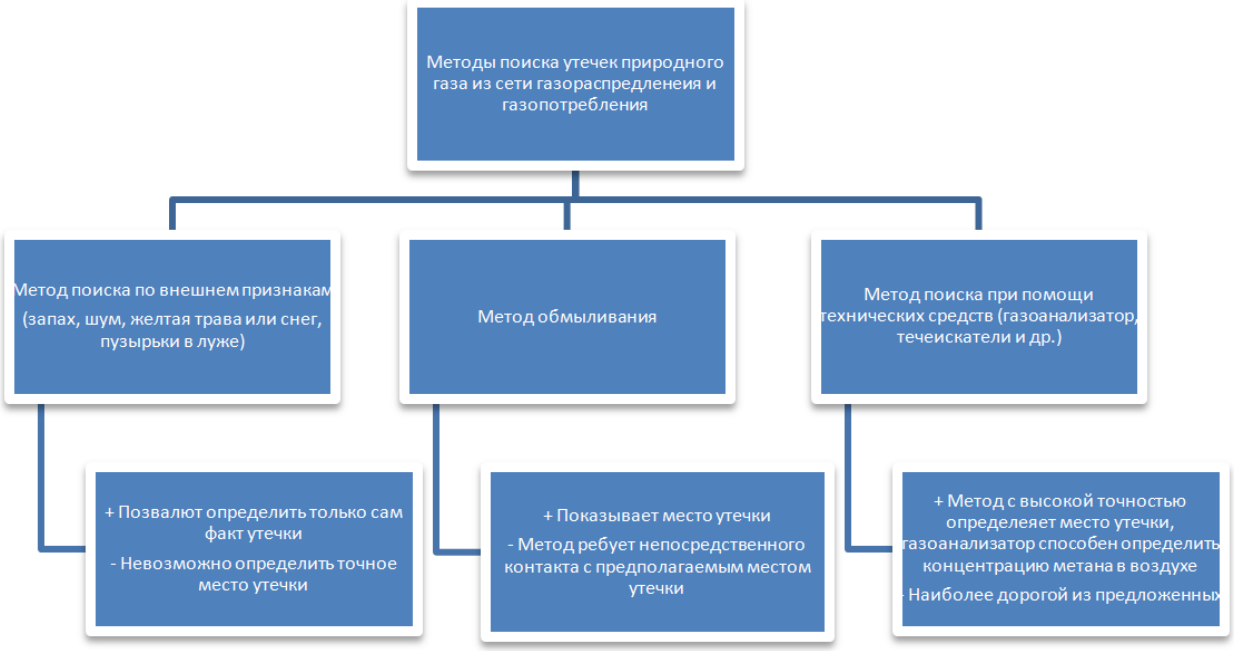


Рис. 1 – Схема методов поиска утечек природного газа в сетях газораспределения и сетях газопотребления

На сегодняшний день существует множество различных методов поиска мест утечек природного газа в сетях газораспределения и газопотребления [6, 9-14]. В основном для установления места утечки и определения ее величины традиционно используются газоанализаторы и счетчики газа:

1) Поиск утечек по запаху одоранта (этилмеркаптан C_2H_5SH), добавляемого в соотношении 16 г на 1000 м^3 природного газа. Основное преимущество - быстро и без специальных приборов можно определить наличие утечки, однако, как показывает практика, по данному методу невозможно определить точное местоположения утечки, поэтому его всегда применяют в совокупности с другими методами поиска: по шуму можно определить утечку природного газа на газопроводах среднего и низкого давления; по внешнему виду охранной зоны (жёлтая трава, пузырьки газа в луже, жёлтый снег).

2) Для выявления мест утечек слесарями газораспределительной организации (ГРО) используется метод обмыливания или метод нанесения мыльной эмульсии на места резьбовых и фланцевых соединений или сварных швов (места утечек определяют по образованию пузырей). Метод обмыливания используется уже долгое время и не требует для своего проведения особого оборудования и знаний. Также к его достоинствам можно отнести то, что он очень дешевый и очень наглядный. К недостаткам данного метода можно отнести то, что для проведения обмыливания необходим непосредственный контакт с предполагаемым местом утечки, поэтому в основном мыльная эмульсия используется при осмотре внутридомового газового оборудования, где данная эмульсия наносится на резьбовые соединения.

3) Наиболее точным и более современном методом является метод обнаружения утечек при помощи газоанализаторов или высокочувствительных течеискателей типа ПГА, СГГ, ФП, ТГП и ПМ и т. д. Кроме того, данные газоанализаторы позволяют помимо указания места утечки измерить концентрацию метана в воздухе.

Анализируя все применяемые на данное время методы поиска утечек, можно сделать вывод, что в основном в системах газораспределения и газопотребления используются методы, которые указывают только на сам факт наличия утечки, что напрямую связано с дефектами в газовом оборудовании и в месте соединения трубопроводов. Предотвращение образования дефектов в газопроводах и в газовом оборудовании, а также своевременное обнаружение местоположения потенциальной утечки позволит газораспределительным организациям значительно сократить свои убытки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борьба с утечками: мировой опыт / Газ России, 2010, Т. 3, С. 48–50.
2. *Davydenko M.I.* Analysis of emergence polyethylene piplenes depending on the method installation / M.I. Davydenko, Yu.E. Yaroslavova, M.N. Nazarova // Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции Студенческого отделения европейской ассоциации геоученых и инженеров - European Association of Geoscientists and Engineers (EAGE) «Природные процессы в нефтегазовой отрасли. Geonature», 2017, С. 294-297.
3. *Назарова М.Н.* Риск-ориентированный подход к обеспечению безопасной эксплуатации газопроводов системы газораспределения / М.Н. Назарова, В.В. Понкратова // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2019, Т. 4(7), С. 484–489.
4. *Давыденко М.И.* Оценка надежности сварных соединений полиэтиленовых газопроводов / М.И. Давыденко, Ю.Э. Ярославова, М.Н. Назарова // В сборнике материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Трубопроводный Транспорт Углеводородов», 2017, С. 10-14.
5. *Nazarova M.N.* Modernization of polyethylene pipelines for expanding application of them in gas transportation systems / M.N. Nazarova, M.I. Davydenko, Yu.E. Yaroslavova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 194(7), 072009.
6. *Зубаилов Г.И.* Повышение оперативности контроля утечек газа через негерметичные соединения оборудования сетей газораспределения и газопотребления // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», 2015, Т. 2, С. 179-190.
7. *Давыденко М.И.* Выявление наиболее вероятных эксплуатационных дефектов полиэтиленовых газопроводов / М.И. Давыденко, Ю.Э. Ярославова, М.Н. Назарова // В сборнике материалов Научной конференции с

международным участием «Неделя науки СПбПУ». Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2017, С. 189-192.
8. *Давыденко М.И.* Анализ надежности и определение ее количественного показателя для полиэтиленовых газопроводов в зависимости от способа монтажа / М.И. Давыденко, Ю.Э. Ярославова, М.Н. Назарова // Сборник трудов международной конференции с элементами научной школы для молодежи «Современные технологии и материалы новых поколений». Национальный исследовательский Томский политехнический университет. 2017, С. 42-43.
9. СТО Газпром 027-2006. Типовая программа оценки эмиссии природного газа на объектах ОАО «Газпром»: утвержден и введен в действие распоряжением ОАО «Газпром» от 19 июля 2006 г. No 154. - М.: 2006. - 38 с.
10. Моделирование технологических процессов трубопроводного транспорта нефти и газа / И.Р. Байков [и др.]. - Уфа: УНИ, 1994. - 127 с.
11. *Кязимов К.Г.* Справочник работника газового хозяйства: Справочное пособие. — М.: Высшая школа, 2006. - 278 с.
12. *Кязимов К.Г.* Основы газового хозяйства: Учебник. - М.: Высшая школа, 1981. - 320 с.
13. *Чучакин Л.А.* Приборный контроль за состоянием газопроводов и газового оборудования (Библиотека мастера газового хозяйства) / Л.А. Чучакин, Н.Е. Тверитин. - Л.: Недра, 1986. - 167 с.
14. РД 12-411-01. Инструкция по диагностированию технического состояния подземных стальных газопроводов. Сер. 12. Вып. 3. Кол. авт. - М.: ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2002. - 120 с.
15. *Ворончихина П.В.* Оценка работоспособности полиэтиленовых труб с дефектами при эксплуатации трубопроводов сетей газораспределения / П.В. Ворончихина, К.Д. Зюков // Сборник научных трудов XI Международной научно-технической конференции «Современные проблемы машиностроения», 2017, С. 25-29.

УДК 621.317.18

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ПОДХОДОВ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПОЛНОЙ МОЩНОСТИ ПРИ НАЛИЧИИ В СЕТИ ВЫСШИХ ГАРМОНИК

Пудкова Тамара Валерьевна,
аспирант,
Пастухова Анастасия Андреевна
группа ЭРБ-16,
Левчук Денис Иванович,
группа ЭС-17,
Санкт-Петербургский горный университет, кафедра общей электротехники

Аннотация. Современные промышленные предприятия имеют в своём составе электрооборудование с нелинейным характером нагрузки, что значительно сказывается на условиях функционирования сети. Возникает несинусоидальность сигналов тока и напряжения из-за появления высших гармоник. В их присутствии приборы учета электроэнергии могут выдавать показания несоответствующие действительности, что сказывается на тарифных ставках предприятия на оплату электроэнергии (экономический аспект) и корректности работы другого оборудования по показателям приборов (технический аспект). Для повышения эффективности учета электроэнергии в сетях с высшими гармониками необходимо провести анализ актуальных теорий мощности.

Ключевые слова: теории мощности; неактивная мощность; мощность искажения; учет электроэнергии; высшие гармоники

BENCHMARKING ANALYSIS OF DIFFERENT APPROACHES TO DETERMINATION OF APPARENT POWER ALLOWING FOR HIGHER HARMONICS

Pudkova Tamara V.,
postgraduate student ,
Pastukhova Anastasia A.,
group ERB-16,
Levchuk Denis I.,
group ES-17,
Saint Petersburg Mining University,
Electrical engineering department

Abstract. Modern industrial enterprises have in their composition electrical equipment with a non-linear type of load, which significantly affects the operating conditions of the electrical grid. There is a non-sinusoidal current and voltage signal due to the appearance of higher harmonics. In their presence, electricity metering devices may give readings inconsistent with reality, which affects the tariff rates of an enterprise to pay for electricity (the economic aspect) and the correctness of operation of other equipment in terms of the instruments (technical aspect). To improve the efficiency of electricity metering in electrical grid with higher harmonics, it is necessary to analyze current theories of power.

Keywords: theory of power; non-active power; distortion power; electric power metering; higher harmonics

Современные электротехнические комплексы предприятий имеют в своем составе приборы учета электроэнергии, по которым определяются значения активной и реактивной энергии [1,2,3].

Если показания таких приборов не точны, то это ведет к проблемам как минимум в двух направлениях: техническом и экономическом[4,16].Помимо погрешностей, возникающих как следствие конструкционных особенностей прибора, необходимо учитывать расчетную погрешность, которая обусловлена заложенными расчетными формулами[17].

Независимо от режима потребления электроэнергии полная мощность S (ВА), которую также называют «кажущейся», находится по универсальной формуле (1):

$$S = UI, \tag{1}$$

где U (В) – действующее значение полного напряжения рассматриваемого участка сети; I (А) – действующее значение полного тока рассматриваемого участка сети.

Симметричный синусоидальный режим является идеальным и в трехфазных сетях промышленных предприятий практически не встречается. В таких условиях полная мощность раскладывается на две составляющие (2):

$$S^2 = P^2 + Q^2 = (UIcos\varphi)^2 + (UIsin\varphi)^2, \tag{2}$$

где P (Вт) – активная мощность; Q (вар) – реактивная мощность; φ (град) – разность фаз между начальными фазами напряжения и тока.

В работе рассматривается симметричный несинусоидальный режим работы сети, возникающий при нелинейном характере нагрузки.

Для анализа работы различных подходов к теории мощности рассмотрена схема предприятия радиального типа алюминиевой промышленности, имеющую в своем составе нелинейную нагрузку (рис. 1) [17].

Во всех анализируемых подходах полная мощность раскладывается на различные составляющие. Неизменной остается только активная мощность P, которая для периодического тока произвольной формы определяется как средняя мощность за период [12, 13, 14]. В стандарте предлагается использовать термин «неактивная мощность», который является корнем из разности полной и активной мощностей [18].

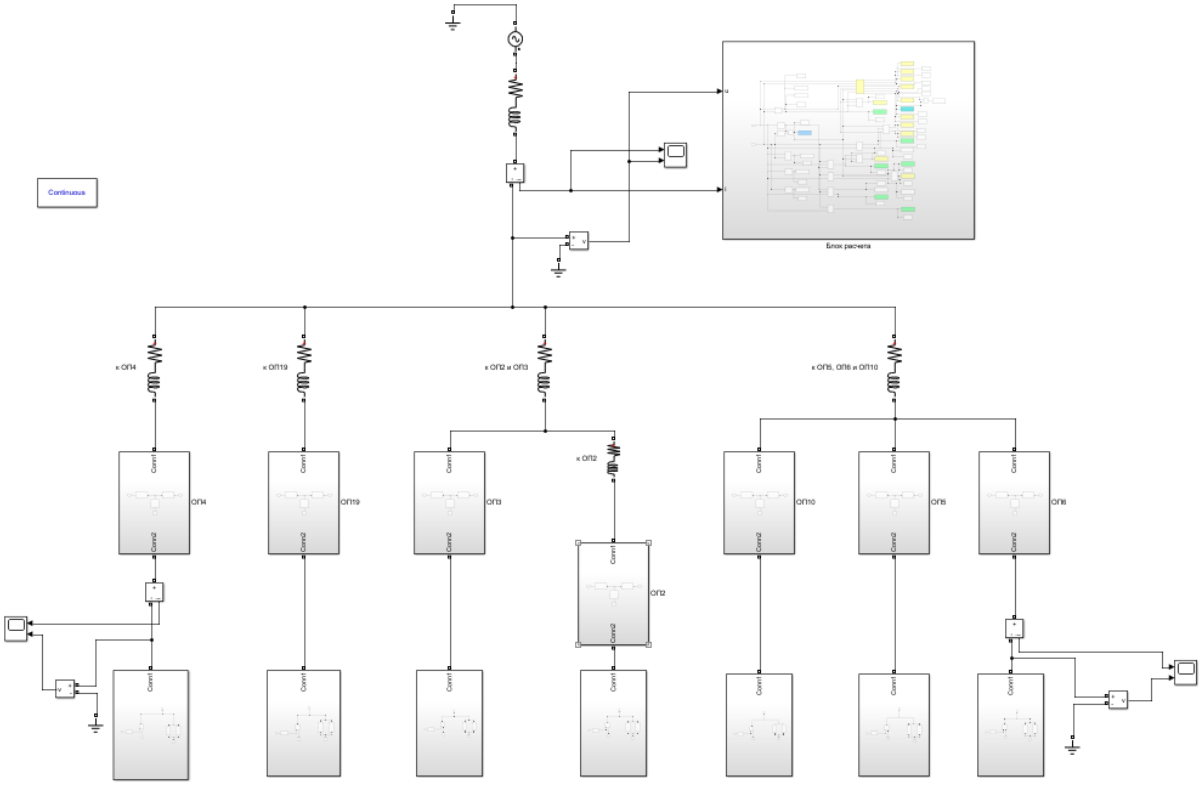


Рис. 1 - Модель схемы предприятия алюминиевой промышленности радиального типа с блоком расчета мощностей

В некоторых методах неактивная мощность равна реактивной, в некоторых является суммой разных видов мощностей, например, реактивной и мощности искажений (табл. 1).

В спектре сигнала с проявляющимися 5, 7, 11, 13 и 17 гармониками тока, где с увеличением номера гармоники наблюдается уменьшение величины амплитуды гармоники.

В результате моделирования выявлены соответствия и значения в значениях между следующими видами мощностей, где «=» означает равенство значений; «+» / «-» - значения в данном методе выше или ниже остальных соответственно.

Также выявлено изменение долевого вклада в зависимости от гармонического состава и соотношения линейной к нелинейной нагрузке.

Таблица 1

Анализируемые теории мощности

№	Авторы теорий	Полная мощность
1	C.I. Budeanu (Будяну)	$S^2 = P^2 + F^2$ $S^2 = P^2 + Q_B^2 + D^2$ F-фиктивная/ добавочная мощность; Q_B – реактивная мощность; D – мощность искажения..
2	S. Fryze (Фризе)	$S^2 = P^2 + Q_F^2$ $S^2 = (UI_a)^2 + (UI_F)^2$ Q_F – реактивная мощность
3	W. Shepherd & P. Zakikhani (Шепард и Закихани)	$S^2 = S_R^2 + S_X^2 + S_D^2$ S_R –полная активная мощность; S_X – полная реактивная мощность; S_D – полная мощность искажения.
4	N.L.Kusters & W.J.W. Moore (Кастерс и Мур)	$S^2 = P^2 + Q^2$ $S^2 = P^2 + Q_C^2 + Q_{Cr}^2$ $S^2 = P^2 + Q_L^2 + Q_{Lr}^2$ Q - реактивная мощность; Q_C, Q_L – емкостная / индуктивная реактивные мощности; Q_{Cr}, Q_{Lr} – остаточные емкостная / индуктивная реактивные мощности.
5	D. Sharon (Шарон)	$S^2 = P^2 + S_Q^2 + S_C^2$ S_Q–квадратурная реактивная мощность; S_C –добавочная реактивная мощность.
6	E. Kimbark (Кимбарк)	$S^2 = P^2 + Q_K^2 + D_K^2$ $Q_K^2 + D_K^2$ = деактивная мощность; Q_K – реактивная мощность; D_K – мощность искажения.
7	IEEE 1459-2010 (Международный стандарт)	$S^2 = S_I^2 + D_I^2 + D_U^2 + S_H^2$ $S^2 = S_I^2 + S_N^2$ $S^2 = P^2 + N^2$ S_1 – фундаментальная полная мощность; S_N – нефундаментальная полная мощность; S_H – полная мощность искажения; D_I – мощность искажения по току; D_U – мощность искажения по напряжению; N – неактивная мощность.

Выводы. Различное соотношение компонентов полной мощности в каждом методе. Причем данный расклад значений получается при спектре определенного характера. Если изменить спектр, то изменится и порядок значений компонентов полной мощности.

Полученные данные являются основанием для вывода, что при выборе формул расчета, используемых для счетчиков, необходимо руководствоваться режимом сети и соотношением линейной нагрузки к

нелинейной в случае с симметричным несинусоидальным режимом, поскольку полученные результаты значительно отличаются. Необходимо учитывать разложение неактивной мощности на реактивную и мощность искажения, как минимум, поскольку иначе искусственно завышается значение реактивной мощности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шклярский Я.Э.* Влияние высших гармоник на измерение реактивной энергии в электрических сетях / Я.Э. Шклярский, О.С. Васильков, Д.Е. Батуева // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2018, Т. 1, С. 381-389.
2. *Шклярский Я.Э.* Компенсация высших гармоник в сетях промышленного предприятия / Я.Э. Шклярский, А.Н. Скамьин // Электрика, 2012, Т. 8, С. 35-37.
3. *Скамьин А.Н.* Влияние местоположения нелинейной нагрузки на расчет параметров работы конденсаторных батарей / Естественные и технические науки, 2014, Т. 1(69), С. 156-158.
4. *Скамьин А.Н.* Влияние сопротивления системы на уровень высших гармоник в сети / А.Н. Скамьин, Е.О. Замятин // Сборник материалов II Всероссийской (с международным участием) молодежной научно-практической конференции «Введение в энергетику», 2016, С. 157.
5. *Budenau C.* Puissance reactives et fictives. Inst. Romain de l’Energie, Buharest, Rumania, 1927.
6. *Fryze C.* Active, reactive and apparent power in circuits with non sinusoidal voltage and current (in Polish) / Przegl Elektroech, 1931, Nos. 7, 8, 1932, No. 22, Hh. p. 193-203.
7. *Czarnecki L.* What is Wrong with Budeanu Concept of Reactive and Distortion Power and Why It Should be Abandoned / IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 1987, Vol. IM-36, C. 834-837.
8. *Kusters N.* On the Definition of Reactive Power Factor of the Supply Systems / N. Kusters, W. Moore // IEEE Trans. Power App. Syst., 1980, Vol. PAS99, C. 1845-1854.
9. *Page C.* Reactive Power in Nonsinusoidal Situations / IEEE Trans. Instr. Meas., 1980, Vol. IM-29(4), C. 420-423.
10. *Sharon D.* Power factor definitions and power transfer quality in nonsinusoidal situations / IEEE TransactionsonInstrumentation and Measurement, 1996, Vol. 45, C. 728-733.
11. *Depenbrock M.* Formulating requirements for universally applicable power theory as control algorithm in power compensators / M. Depenbrock, D.A. Marshal, J.D. van Wyk // Europ. Trans. on Electrical Power, ETEP, 1994, Vol. 4(6), C. 445-456.
12. *Сулайманов А.О.* Определение неактивной мощности и ее составляющих по массивам мгновенных значений токов и напряжений / А.О. Сулайманов,

Е.И. Гольдштейн // Известия Томского политехнического университета, 2005, Т. 308(7), С. 44-47.
13. *Сулайманов А.О.* Неактивная мощность и ее составляющие в электроэнергетических системах. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Томск: ТПИ, 2009.
14. *Чижма С.Н.* Совершенствование методов и средств контроля качества электроэнергии и составляющих мощности в электроэнергетических системах с тяговой нагрузкой. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Омск: ОГУПС, 2014.
15. *Akagi H.* Instantaneous power theory and applications to power conditioning / H. Akagi, E.H. Watanabe, M. Aredes // John Wiley&Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2007. – 389 с.
16. Добуш В.С. Анализ влияния источников бесперебойного питания на качество электроэнергии в точке общего подключения потребителей / В.С. Добуш, А.А. Бельский // Промышленная энергетика – 2018. – №6. – С. 29-34.
17. *Скамьин А.Н.* Способы выявления источников высших гармоник в связанных системах электроснабжения промышленных предприятий / А.Н. Скамьин, Ю.В. Растворова // Сборник материалов IV Всероссийской научно-практической конференции «Энергетика и энергосбережение: теория и практика», 2018, С. 262-1–262-3.
18. ГОСТ-32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014. – 16 с.

УДК 621.317.18

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ ВКЛАДА ИСТОЧНИКОВ ВЫСШИХ ГАРМОНИК В ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Растворова Юлия Владимировна,
аспирант,
Мордвинцева Юлия Алексеевна,
группа ПЭ-17,
Коломацкий Даниил Александрович,
группа ЭС-17,
Санкт-Петербургский горный университет,
кафедра общей электротехники

Аннотация. Рассмотрена актуальность разработки методов оценки вклада источников высших гармоник в качество электрической энергии предприятий, питающихся от общей сети. Предложен новый метод, позволяющих однозначно выявить потребителей, вносящих определяющий вклад в ухудшение показателей качества электроэнергии. Показано, что метод не зависит от точности измерений, так как основывается на характере соответствующей зависимости. Результаты компьютерного моделирования подтверждают выдвинутые положения. Показаны перспективы применения метода для определения вклада отдельных потребителей в изменение показателей качества электроэнергии в процентном соотношении.

Ключевые слова: высшие гармоники; нелинейная нагрузка; гармонические искажения; качество электрической энергии

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR ASSESSING THE CONTRIBUTION OF HIGHER HARMONICS SOURCES TO THE INDICATORS OF THE ELECTRIC ENERGY QUALITY

Rastvorova Iuliia,
postgraduate student,
Mordvintseva Yuliya,
group PE-17,
Daniil Kolomatsky,
group ES-17,
Saint Petersburg Mining University,
Electrical engineering department

Abstract. The relevance of the development of the method for assessing the contribution of higher harmonics sources in the electrical energy quality of

powered by a common network industrial enterprises is considered in the article. A new method that allows to unambiguously identify consumer who make a dominant contribution to the deterioration of electricity quality indicators is proposed. It is shown, that the method does not depend on the accuracy of measurements as it is based on the type of the corresponding dependence. The results of computer simulation prove the theoretical propositions. The prospects of application of the method for determining the contributions of individual consumer to the electricity quality indicators in a percentage correlation are shown.

Keywords: higher harmonics; nonlinear load; harmonic distortion; the quality of electric power

На данном этапе развития технологий проблема компенсации высших гармоник напряжения в электрических сетях вызывает крайнюю заинтересованность, как у производителей промышленного оборудования, так и у научных работников [1-7]. Это можно объяснить следующими факторами: наличие искажений в электрических сетях, вызванных интенсивным распространением нелинейной нагрузки, например, частотно-регулируемый привод [8-10] и др. [11-13]; наличие установленных международных (IEEE 1159-1995, IEEE 519-1992 и российских (ГОСТ 32144-2013) стандартов, предъявляемых к качеству электроэнергии; нерешенная проблема компенсации высших гармоник, а также отсутствие единой методики, позволяющей оценить влияние искажений на работу электрооборудования.

В настоящее время разработаны методы, позволяющие определить доминирующий источник искажений. Наиболее известными являются: активных двухполюсников [14], метод потока активной мощности [15], метод, основанный на неактивной мощности [16].

Однако ни один из них не дает точную информацию о вкладе каждого потребителя в искажения системы в процентном соотношении [17]. В связи с этим корректное определение источников высших гармоник, оказывающих наибольшее влияние на режимы работы сети, становится актуальной задачей, так как связано с дальнейшим выбором наиболее эффективных способов компенсации высших гармоник.

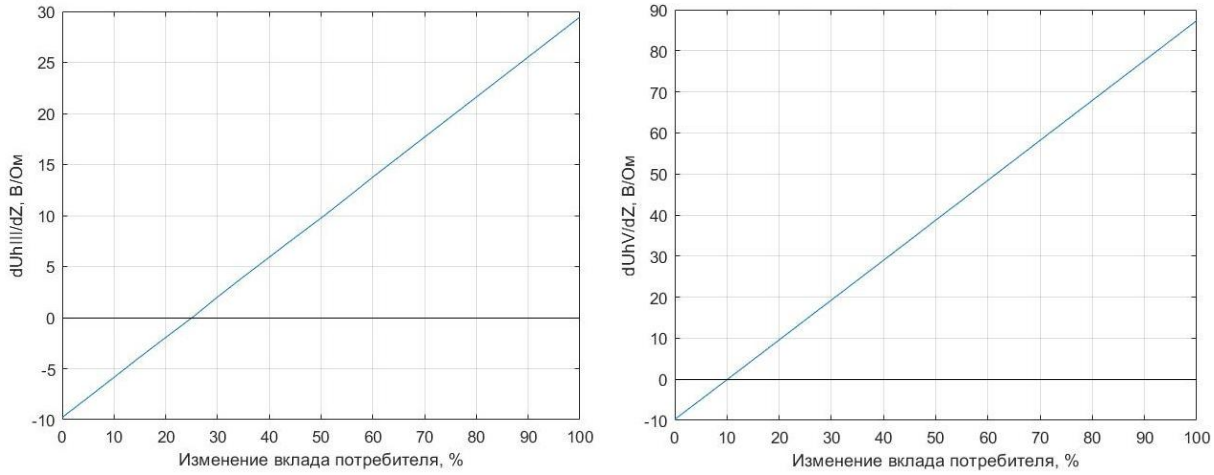
В процессе разработки метода определения вклада потребителей в ухудшение показателей качества электрической энергии были проведено компьютерное моделирования в среде Matlab Simulink, в которой была составлена однофазная схема замещения системы электроснабжения. Предложенная система включала в себя два эквивалентных потребителя-предприятия, каждое из которых представляло собой совокупность линейной и нелинейной нагрузки. Также для первого предприятия введен в схему компенсатор реактивной мощности

Модель была рассчитана при изменении двух параметров, первый из которых – сопротивление вводного трансформатора первого потребителя, диапазон изменения ± 15 % от номинального значения. Второй параметр –

вклад потребителей в искажения сети, представляющий собой отношение мощности нелинейной нагрузки первого (второго) потребителя к суммарной нелинейной мощности нагрузки двух предприятий, выраженное в процентах. Данная величина менялась в пределах 0-100% (100-0%). Таким образом, суммарная мощность нелинейной нагрузки сети сохранялась постоянной.

В результате моделирования была получена зависимость напряжения третьей и пятой гармоник на шинах первого потребителя от изменения сопротивления вводного трансформатора и вклада первого потребителя. При анализе полученных данных было установлено, что при различных вкладах первого потребителя характер зависимости напряжения от изменения сопротивления был различным. Для того, чтобы его охарактеризовать, были рассчитаны производные напряжения U по изменению сопротивления трансформатора Z для каждого из вкладов потребителя.

Результатом расчета являлись средние для каждого из вкладов потребителя значения производной напряжения для третьей (рис. 1, а) и пятой гармоник (рис. 1, б).



а б

Рис. 1 - Среднее значение производной напряжения потребителя:
а – третья гармоника, б – пятая гармоника

Линейность полученных характеристик является их преимуществом для разработки и последующего использовании критерия. Как видно из графиков, точки пересечения полученных характеристик с нулем для первой гармоники – около 50% вклада, для третьей – около 25%, для пятой – около 10%.

Чтобы охарактеризовать данную прямую более точно, необходимо выделить факторы, влияющие на ее характер. Было выдвинуто предположение, что в качестве такого фактора может быть рассмотрено соотношение линейных мощностей первого и второго потребителя.

Соответственно, для той же расчетной схемы было проведено моделирование схемы при условии равенства линейных мощностей двух предприятий, а также в случае, когда линейная мощность первого

потребителя на порядок выше второго и наоборот. На рис. 8 представлены результаты расчетов.

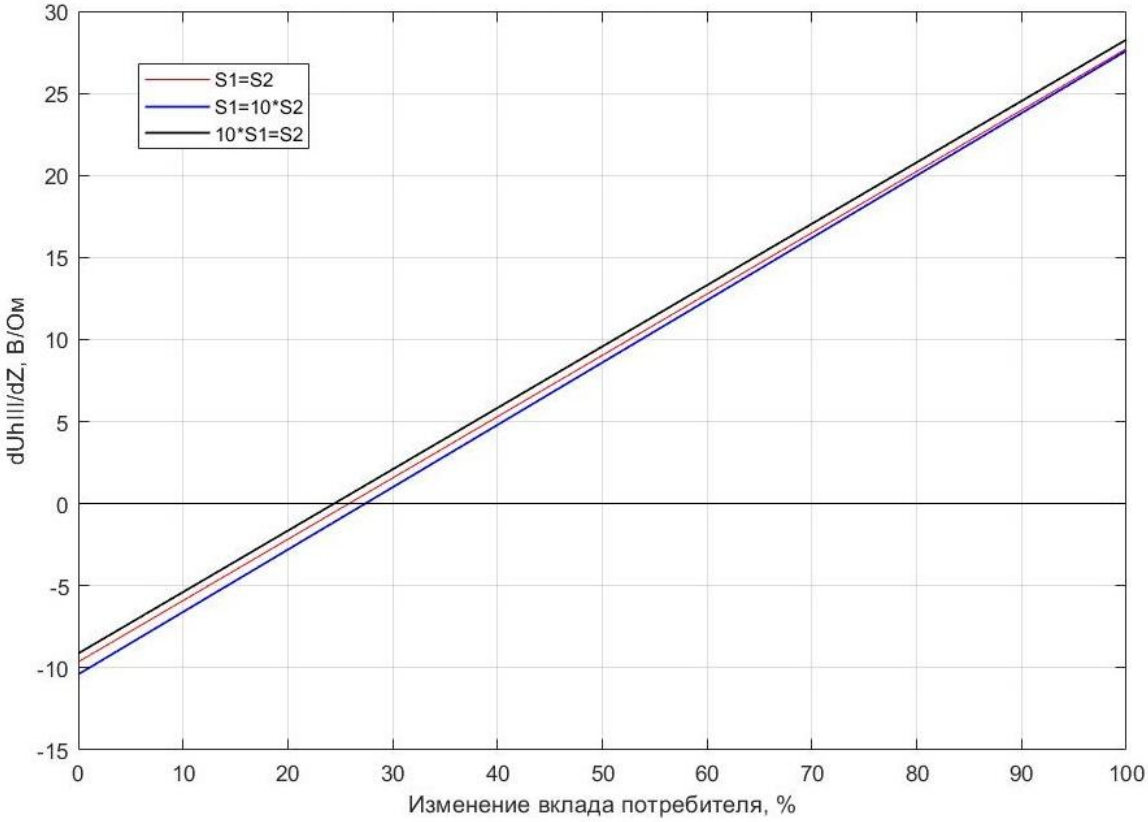


Рис. 2 - Среднее значение производной напряжения третьей гармоники

Следует отметить, что при изменении мощности на 2 порядка, пересечение прямой с нулем меняет свое положение на 3%, в то время как наклон прямой практически не изменяется. При условии, что указанная точность является достаточной, то за критерий можно принимать прямую, полученную при равных мощностях.

Выводы.

В результате проведенных исследований можно сделать вывод о том, что полученные зависимости однозначно указывают на доминирующий источник искажений относительно точки общего подключения и не зависят от точности измерений. Кроме того, описана основа для дальнейших исследований, результатом которых будет метод, благодаря которому можно оценить вклад потребителя в ухудшение показателей качества электроэнергии в процентном соотношении. Такой основой является зависимость производной напряжения высших гармоник по изменению сопротивления вводного трансформатора.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бунтеев Ю.Е.* Анализ методов определения источников высших гармоник в электрических сетях промышленных предприятий / Я.Э. Шклярский,

Ю.Е. Бунтеев // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов, 2016, Т. 1(115), С. 88-91.
2. *Гамазин С.И.* Определение фактического вклада потребителя в искажения параметров качества электрической энергии. / С.И. Гамазин, В.А. Петрович // Промышленная энергетика, 2003, Т. 1, С. 32-38.
3. *Майер В.Я.* Методика определения долевых вкладов потребителя и энергоснабжающей организации в ухудшении качества электроэнергии / В.Я. Майер, Зения // Электричество, 1994, Т. 9, С. 19-24.
4. *Замятин Е.О.* Применение принципа Парето для выбора точек подключения фильтро-компенсирующих устройств / Е.О. Замятин, Р.А. Салов // Электронный сборник материалов IV Всероссийской научно-практической конференции «Энергетика и энергосбережение: теория и практика», 2018, С. 226.1-226.6.
5. *Смирнов А.И.* Применение волнового анализа для измерения реактивной энергии при нарушении качества электроэнергии / А.И. Смирнов, А.С. Лутонин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2018, Т. 4, С. 458-471.
6. *Шклярский Я.Э.* Влияние высших гармоник на измерение реактивной энергии в электрических сетях / Я.Э. Шклярский, О.С. Васильков, Д.Е. Батуева // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2018, Т. 1, С. 381-389.
7. *Belitskiy A.A.* Nonlinear and Unbalanced Load as a Basic Factor of a Neutral Conductor Current / I.I. Rastvorova, O.V. Denisova, A.A. Belitskiy // Proceedings of the 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2018, 2018, С. 570-571.
8. *Ivanchenko D.I.* Analysis of Z-Source Inverter Control System for Asynchronous Drive for Gas Compressor / D.I. Ivanchenko, R.A. Salov, E.V. Yakovleva // Proceedings of the 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2018, 2018, С. 636-640.
9. *Malarev V.I.* Electric Power Supply System Development for Down-hole Electric Steam Generators to Produce High-viscosity Oil / V.I. Malarev, A.V. Kopteva, V.Y. Koptev // IEEE Xplore 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), 2019, Vol. 1, С. 1-8.
10. *Solovev S.V.* Efficiency estimation method of three-wired AC to DC line transfer / S.V. Solovev, A.I. Bardanov // Journal of Physics: Conference Series, 2018, Vol. 1015, 032137.
11. *Добуш В.С.* Анализ влияния источников бесперебойного питания на качество электроэнергии в точке общего подключения потребителей / В.С. Добуш, А.А. Бельский // Промышленная энергетика, 2018, Т. 6, С. 29-34.
12. *Яковлева Э.В.* Анализ перспектив регионального развития интеллектуальных энергетических систем / Э.В. Яковлева, Е.В. Сизякова, П.В. Иванов, Ю.Л. Жуковский, Т.В. Пудкова // Российский экономический интернет-журнал, 2018, Т. 2, С. 107.

13. *Solovev S.V.* Static Load Characteristics Consideration for Determination of Transmission Line Power Capacity / S.V. Solovev, S.B. Kryltcov, I.N. Voytyuk // Proceedings of the 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2018, 2018, С. 803-806.
14. *Yang H.G.* Assessment for harmonic emission level from one particular customer / University of Liege, 1992.
15. *Sasdelli R.* Considerations on power definitions on nonsinusoidal conditions / R. Sasdelli, A. Menchetti, G.C. Montanari // IMECO TC-4 5th Int. Symp., Vienna, Austria., Apr. 8-10, 1993.
16. *Barbaro P.V.* A novel approach based on nonactive power for the identification of disturbing loads in power systems / P.V. Barbaro, A. Cataliotti, V. Cosentino, S. Nuccio // IEEE Transactions on Power Delivery, 2007, Vol. 22, С. 1782-1788.
17. *Скамьин А.Н.* Способы выявления источников высших гармоник в связанных системах электроснабжения промышленных предприятий / А.Н. Скамьин, Ю.В. Растворова // Сборник материалов IV Всероссийской научно-практической конференции «Энергетика и энергосбережение: теория и практика», 2018, С. 262-1–262-3.

УДК 625.32

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЦЕПЛЕНИЯ ПРИВОДНЫХ КОЛЕС ТЯГОВОГО УСТРОЙСТВА АГРЕГАТОВ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Родионова Марина Сергеевна,
аспирант,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. Агрегаты горно-обогатительного производства, в частности сгустители пульпы, отличаются особенностью конструкции приводов, а именно наличием фрикционной пары, включающей в себя приводной ролик и кольцевой рельс. Посредством изменения способа создания силы тяги, возможно совершенствование приводов агрегатов горно-обогатительного производства за счет прижатия приводных колес к рельсу с помощью рычажной системы тягового устройства, что ведет к полной замене сцепного веса. Установлено, что на процесс сцепления приводных колес с кольцевым рельсом влияет диаметр колес, состояние поверхности качения, нормальное давление колес на рельс.

Ключевые слова: фрикционная пара; агрегаты горно-обогатительного производства; относительное скольжение; нормальное давление

TRACTION DEVICE DRIVE WHEELS BONDING PROCESS IN THE MINING AND PROCESSING INDUSTRY

Rodionova Marina,
postgraduate student,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. The units of the mining and processing industry, in particular pulp thickeners, are distinguished by the design of the drives, namely the presence of a friction pair, which includes a drive roller and a circular rail. By changing the way of creating the tractive power, it is possible to improve the drives of the units of the mining and processing industry by compressing the drive wheels to the rail using the lever system of the traction device, which leads to the complete replacement of the coupling weight. It has been established that the diameter of the wheels, the condition of the rolling surface, and the normal pressure of the wheels on the rail affect the process of coupling the drive wheels with the circular rail.

Keywords: friction pair; units of the mining and processing industry; relative slip; normal pressure

При сцеплении приводных колес с рельсом наблюдается проскальзывание колес относительно друг друга и относительно рельса, что ведет к значительному износу ходовых элементов [1, 2].

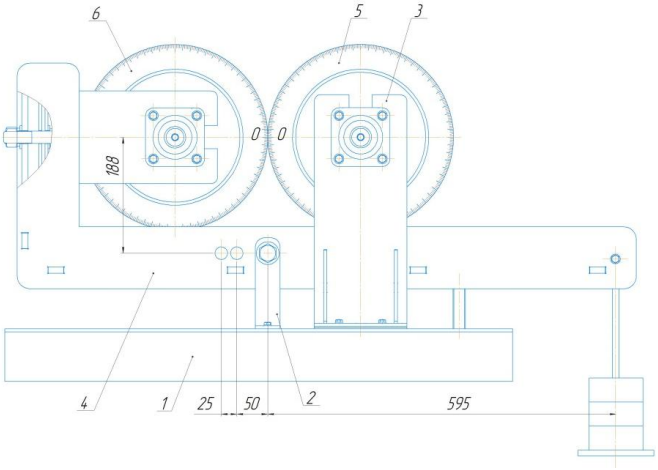


Рис. 1 - Схема экспериментального стенда:
1 – рама, 2 – вертикальная опора,
3 – кронштейн, 4 – угловой рычаг, 5 – ведущее колесо, 6 – ведомое колесо

Задача исследования заключалась в определении величины относительного скольжения фрикционной пары колес при различных условиях сцепления [3, 4].

Исследования проводились на экспериментальном стенде СН-3, представленном на рис. 1.

На раме 1 (рис. 1) стенда установлены вертикальная опора 2 и кронштейн 3.

На вертикальной опоре 2 закреплен прямоугольный угловой рычаг 4. На вертикальном кронштейне 3 установлено ведущее колесо 5, а на горизонтальном кронштейне – ведомое колесо 6.

На конце углового рычага 4 закреплена подвеска 6.

Предусмотрена возможность регулирования длины плеча на угловом рычаге 4 рамы 1 посредством дополнительных отверстий [5].

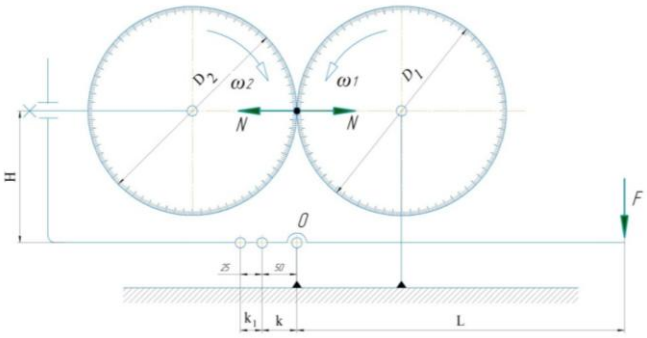


Рис. 2 - Расчетная схема экспериментального стенда

Стенд снабжен тремя наборами фрикционных колес, диаметром 150, 200, 300 мм и набором грузов весом 51 ± 0,5 Н, с помощью которых создавалась нагрузка [6, 7].

Нормальное давление N в зоне контакта фрикционных колес рассчитывалось в зависимости от значения внешней нагрузки G_i в соответствии с расчетной схемой, представленной на рис. 2.

Уравнение равновесия моментов несущего рычага относительно точки О имеет вид:

$$\sum M_0 = G_i L_i - NH = 0,$$

В табл. 1 представлены результаты вычислений относительного скольжения ΔU для пары фрикционных колес с диаметром 300 мм для различных значений длины плеча L_i несущего рычага и внешней нагрузки G_i [8].

Таблица 1

Результаты расчета относительного скольжения ΔU

Нормальное давление, N, Н	Линейная скорость ведущего колеса V_1, м/с	Линейная скорость ведомого колеса V_2, м/с	Угловое отклонение Δφ, град	Относительное скольжение ΔU,%
237	17,53167	17,50257	10	0,166
246	15,97	15,94531	5,625	0,155
380	20,25424	20,2239	4	0,15
412	16,22683	16,20512	6,25	0,134
428	15,70669	15,68583	4,875	0,133
541	19,63926	19,61846	2,25	0,106
587	14,91492	14,89972	5,25	0,102
609	14,13199	14,11801	4,125	0,099
703	18,59141	18,57488	1,2	0,089
762	14,86265	14,84958	4,5	0,088
784	13,34557	13,3341	3,75	0,086
858	16,75814	16,74374	1	0,086
930	14,65303	14,64088	4,3	0,083
966	13,08325	13,07279	3,625	0,08
1019	16,75771	16,74415	0,875	0,081
1105	14,12848	14,11775	4,2	0,076
1148	12,81876	12,80967	4,125	0,071

По результатам экспериментальных данных построены графики зависимости $U = f(N)$ (рис. 3).

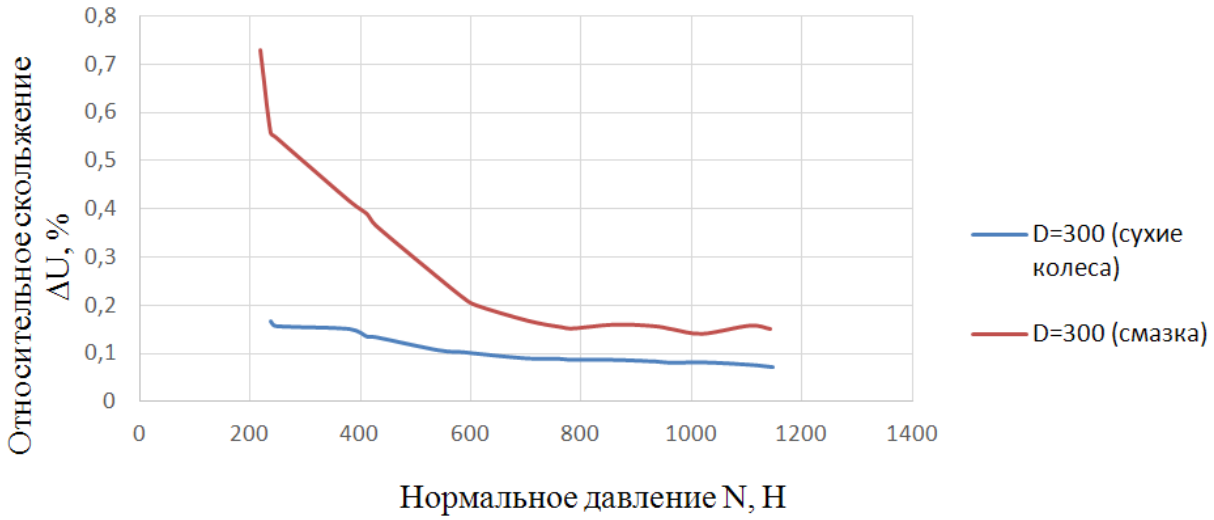


Рис. 3 - График зависимости относительного скольжения от нормального давления

Анализ полученных данных показал, что при изменении нормального давления от 236 Н до 1147 Н и отсутствии смазки на поверхностях качения наблюдается снижение величины относительного скольжения с 0,166 % до 0,071 %. Максимальное значение относительного скольжения ΔU соответствует минимальному нормальному давление в 236 Н для смазанных

поверхностей качения. Относительное скольжение для сухих, чистых поверхностей качения в 4,66 раза меньше, чем для смазанных.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Тимофеев И.П.* Обоснование параметров фрикционного привода агрегатов горно-обогатительного производства / И.П. Тимофеев, М.С. Столярова // Известия Уральского государственного горного университета, 2019, Т. 1(53), С. 136-142.
2. *Тимофеев И.П.* Особенности работы тягового устройства на криволинейных участках рельсового пути / И.П. Тимофеев, А.В. Большунов, М.С. Столярова, А.М. Авдеев // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2019, Т. 1, С. 171-178.
3. *Timofeev I.P.* Specific Features of Friction-Type Traction Gear of Rotating Machines Drives / I.P. Timofeev, A.V. Bolshunov, M.S. Stoliarova // Procedia Engineering, 2017, Vol. 206, С. 1654-1660.
4. *Тимофеев И.П.* Особенности работы фрикционных тяговых устройств для приводов стационарных горных машин / И.П. Тимофеев, М.С. Столярова // Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, С. 146-148.
5. ГОСТ Р 8.563-2009 ГСИ. Методики (методы) измерений, 2009.
6. *Третьяк Л.Н.* Основы теории и практики обработки экспериментальных данных: учебное пособие / Л.Н. Третьяк, А.Л. Воробьев. – Оренбург: Оренбургский гос. ун-т, 2015. - 215 с.
7. *Никитин В.И.* Статистические методы обработки экспериментальных данных: Учебное пособие, 2016. – 64 с.
8. *Калинин А.Г.* Обработка данных методами математической статистики: монография, 2015. – 106 с.

УДК 622.691.4.052

ПОЛУЧЕНИЕ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИЗБЫТОЧНОЙ ЭНЕРГИИ МАГИСТРАЛЬНОГО ПОТОКА НА ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СТАНЦИЯХ

Рузманов Александр Юрьевич,
аспирант,
Санкт-Петербургский горный университет, кафедра транспорта и хранения нефти и газа

Аннотация. Газораспределительные станции предназначены для снижения давления магистрального потока газа. Редуцирование осуществляется при помощи узла редуцирования, который включает в себя дроссельные клапаны. Большая часть энергии, сообщаемой газу компрессорами на компрессорной станции, попросту растрачивается на данном этапе. Однако, существует возможность извлечения и полезного применения данной энергии. Наиболее простым способом использования избыточной энергии магистрального потока газа является генерация электрической энергии. С другой стороны, одним из наиболее перспективных направлений является получение сжиженного природного газа (СПГ). В результате работы над проблемой использования избыточной энергии магистрального потока газа с целью сжижения природного газа был разработан высокоэффективный способ получения СПГ. Эффективность данного способа достигается за счет наиболее полного использования избыточной энергии магистрального потока.

Ключевые слова: ГРС; СПГ; турбодетандер; редуцирование; энергоэффективность; дроссельный клапан

LIQUEFIED NATURAL GAS PRODUCTION WITH EXCESS ENERGY OF THE MAIN GAS FLOW APPLICATION AT GAS DISTRIBUTION STATIONS

Ruzmanov Aleksandr Yurevich,
postgraduate student,
Saint Petersburg Mining University, Oil and gas transportation and storage department

Abstract. Gas distribution stations are designed for the main gas flow throttling. The gas pressure is reduced by the reduction unit, which contains throttle valves. Most of the transmitted by compressors at the compressor station the main gas flow energy lost during this process. However, there is energy extraction and

useful application possibility. The simplest way to use the main gas flow power is to generate electricity. However, one of the most perspective direction is to produce liquefied natural gas (LNG). During work on the solution of a main gas flow excess energy usage for LNG production problem, the highly efficient method for LNG producing was developed. The method efficiency is formed due to the optimal use of energy obtained by expanding the main gas flow.

Keywords: gas distribution station; LNG; turboexpander; reduction; energy-efficiency; throttle valves

В классическом случае на газораспределительной станции (ГРС) осуществляется понижение давления газа из магистрального газопровода до уровня, необходимого по условиям его безопасного потребления, за счет применения регуляторов давления узла редуцирования. Такой способ обеспечивает снижение давления 3-6 МПа до 1,2 МПа (промышленные потребители) или до 0,6 и 0,3 МПа (муниципальные потребители). При этом в процессе дросселирования расходуется значительное количество энергии магистрального потока газа, которая изначально была сообщена потоку на компрессорной станции. Таким образом возникает потенциальная возможность для извлечения и последующего применения данного энергетического потенциала [1].

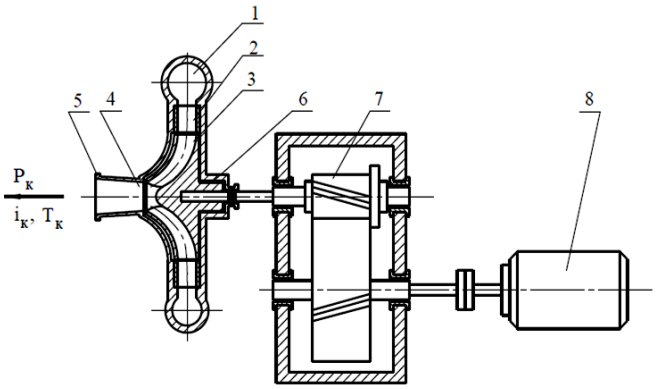


Рис. 1 – Турбодетандер:
1 - входной патрубок (улитка);
2 - направляющий аппарат; 3 - рабочее колесо (вращающаяся решетка); 4 - диффузор;
5 - корпус; 6 - лабиринтные уплотнения;
7 - редуктор; 8 - генератор для отбора мощности [4]

В условиях ГРС рациональным способом преобразования избыточной энергии магистрального потока является внедрение в эксплуатацию станции турбодетандера [2]. Турбодетандеры (рис. 1) утилизируют собственные энергетические ресурсы газотранспортной системы (полезно не используемый перепад давлений газа), при этом данное оборудование достаточно просто в эксплуатации и обладает высокими показателями надежности, что особенно важно при использовании на опасных производственных объектах [3]. В турбодетандерах передача энергии рабочему колесу происходит при взаимодействии потока и лопаток вращающегося рабочего колеса.

На данный момент существует большое количество опубликованных, в том числе запатентованных, схем ГРС с подключенным турбодетандером, однако их проблема заключается в подключении оборудования турбодетандерной установки параллельно всей станции, что приводит к неполному извлечению избыточной энергии магистрального потока.

Намного более эффективным способом подключения турбодетандера к технологическим линиям ГРС является подключение агрегата параллельно узлу редуцирования станции. Такое решение позволяет сократить время установки турбодетандера, обеспечить минимальную протяженность дополнительно прокладываемых трубопроводов на территории газораспределительной станции, а также, что является наиболее важным, использовать энергию всего магистрального потока газа.

Использование полезной мощности турбодетандерной установки при ее внедрении в эксплуатацию таких производственных объектов как ГРС является одним из ключевых вопросов, как с экономической, так и с технологической точек зрения. Наиболее простым вариантом является использование полезной мощности турбодетандерной установки для выработки электроэнергии. Однако, на сегодняшний день к числу наиболее перспективных направлений реализации потенциала полезной мощности на валу турбодетандера относят получение сжиженного природного газа (СПГ) в условиях ГРС. Реализации таких проектов способствует не только большой объем накопленного опыта по использованию подобного рода установок для решения схожих задач, но и низкие температуры потока газа на выходе из турбодетандера (около 200К) [5]. Также в условиях газораспределительных станций возникают уникальные экономические условия: возможность закупки газа (как сырья для получения СПГ) по внутренним ценам эксплуатирующей организации, что значительно снижает себестоимость СПГ [6].

В результате работы над решением задачи по использованию избыточной энергии магистрального потока на ГРС для получения СПГ был разработан высокоэффективный способ получения сжиженного природного газа за счет оптимального применения энергии, полученной при расширении от перепада давлений на входе в газораспределительную станцию и на выходе из нее [7, 8].

Результат достигается тем, что полезную мощность турбодетандерного агрегата используют для выработки электрической энергии, после расширения в турбодетандере поток газа разделяют на технологический, предназначенный для сжижения, который направляют в цикл сжижения природного газа с внедренным детандером и флэш-циклом, и продукционный, предназначенный для подачи потребителю, который после дополнительного подогрева одорируют и направляют на выход из ГРС, сброс паровой фазы из резервуаров хранилища сжиженного природного газа осуществляют в следующий за флэш-циклом конденсатосборник.

Способ предполагает редуцирование всего магистрального потока газа в турбодетандере для обеспечения возможности наиболее полного использования избыточной энергии магистрального потока. Такое решение позволяет обеспечить полное покрытие энергозатрат на производство СПГ в малых объемах за счет извлечения избыточной энергии магистрального потока в турбодетандере.

Для подтверждения эффективности способа были произведены

термогазодинамический и конструктивный расчет турбодетандера, а также расчет производительности по СПГ в заданных условиях ГРС:

- давление на входе: 5,4 МПа;
- давление на выходе: 0,6 МПа;
- средний расход газа: 21760 м^3/час.

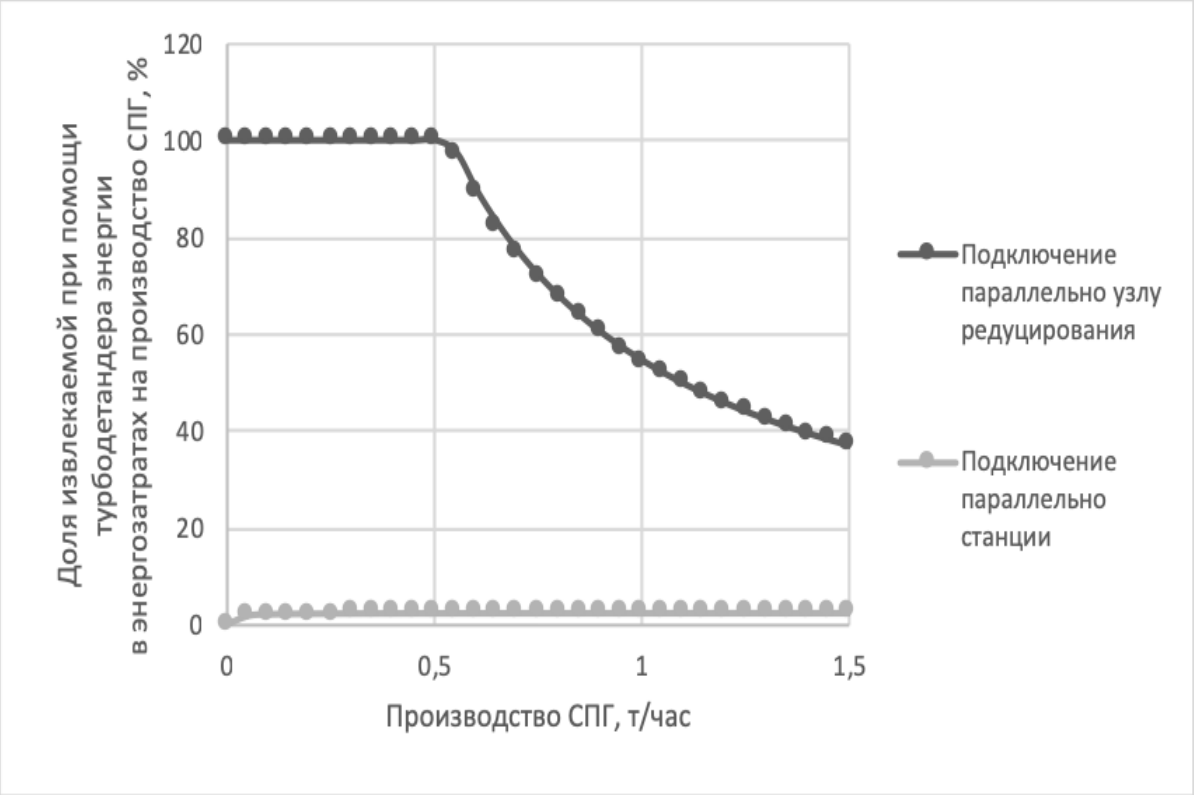


Рис. 2 - Графики зависимостей доли извлекаемой при помощи турбодетандерной установки энергии в энергозатратах на производство сжиженного природного газа

Эффективность метода подтверждается графиками, представленными на рис. 2. Помимо высокой энергоэффективности такое решение позволяет обеспечить повышенные показатели надежности станции за счет наличия альтернативного способа редуцирования – прохождения потока через узел редуцирования ГРС.

Разделение потока газа на технологический, предназначенный для сжижения, и продукционный, предназначенный для подачи в сети газораспределения, после прохождения им турбодетандера позволяет обеспечить также значительное охлаждение потока, с 273-281 К (при давлении 5,2-5,4 МПа) до 195-200 К (при давлении 0,6 МПа). Это позволяет существенно снизить энергозатраты [9] на производство СПГ, что находит подтверждение в графиках, приведенных на рис. 3.

Из графиков, представленных на рис. 3, очевидно, что при температуре газа 290 К и давлении 5 МПа удельные энергозатраты на получение сжиженного природного газа более чем в 4 раза превосходят эту же величину для входных условий 0,6 МПа при температуре 200 К. Таким образом после прохождения турбодетандерного агрегата энергозатраты на сжижение

природного газа снижаются более чем в 4 раза [9].

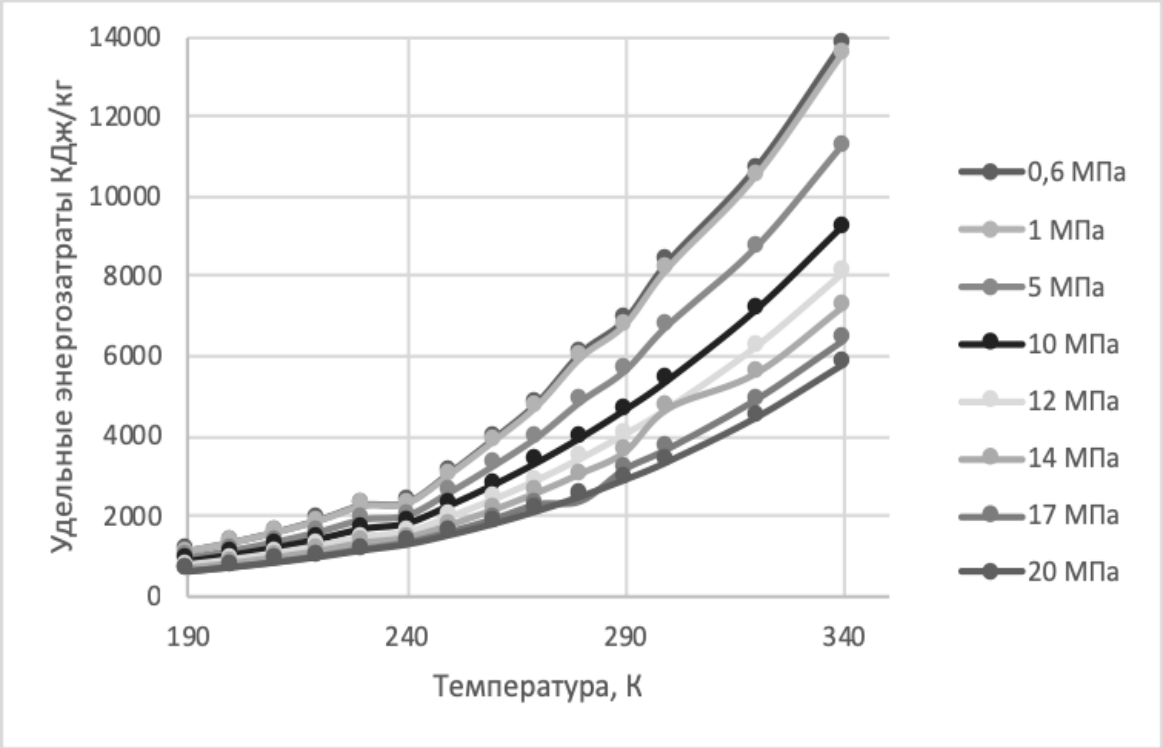


Рис. 3 - График зависимости величины удельных энергозатрат на производство СПГ от температуры для различных значений давления газа

В рамках способа редуцирование магистрального потока газа производится с использованием турбодетандерного агрегата, а компримирование в рамках основного цикла сжижения газа – при помощи компрессора, как отдельного устройства, что позволяет повысить надежность способа по сравнению со способами, предусматривающими применение детандер-компрессорного агрегата [10-14].

Полезная мощность на валу турбодетандера и детандера цикла сжижения газа с внедренным детандером и флэш-циклом [15] используется для выработки электрической энергии, с последующим ее использованием на покрытие потребности оборудования по сжижению газа в электричестве или для сбыта в сети общего пользования при простое оборудования линий сжижения газа, что позволяет не только обеспечить электроэнергией используемое технологическое оборудование, но и создает условия для взаимной независимости процессов работы турбодетандерного агрегата и линий по производству СПГ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Воронов В.А.* Повышение энергетических характеристик газораспределительной станции путем применения турбодетандера / В.А. Воронов, Г.Х. Самигуллин, А.Ю. Рузманов // Международный научно-исследовательский журнал. Часть 4, 2017, Т. 04(58).

2. *Давыдов А.Б.* Расчет и конструирование турбодетандеров / А.Б. Давыдов, А.Ш. Кобулашвили, А.Н.Шерстюк. – М.: Машиностроение, 1987. – 232 с.
3. *Павленко Г.В.* Газодинамический расчет осевой газовой турбины / Г.В. Павленко, А.Г. Волков. – Харьков: ХАИ, 2007. – 76 с.
4. *Бумагин Г.И.* Расчет машин. Расчет турбодетандера. Криогенные машины. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2007. – 102 с.
5. *Цейтлин А.М.* Минимально возможные энергозатраты на сжижение природного газа при использовании цикла однократного дросселирования / А. М. Цейтлин, Ю.А. Хахалева // Вестник АГТУ, 2007, Т. 2(37), С. 163-166.
6. *Воронов В.А.* Применение турбодетандеров на газораспределительных станциях с целью получения сжиженного газа / В.А. Воронов, Г.Х. Самигуллин, А.Ю. Рузманов // Деловой журнал NEFTEGAZ.RU, 2017, Т. 10.
7. Патент RU2665088C1 от 28.08.2018. В.А. Воронов, А.Ю. Рузманов. Способ получения сжиженного природного газа в условиях газораспределительной станции.
8. Патент RU2673642C1 от 28.11.2018. В.А. Воронов, А.Ю. Рузманов. Установка сжижения природного газа (СПГ) в условиях газораспределительной станции (ГРС).
9. *Архаров А.М.* Криогенные системы. Т. 1. Основы теории и расчета / А.М. Архаров, И.В. Марфенина, Е.И. Микулин. – М.: Машиностроение, 1996. – 576 с.
10. Патент РФ № 2541360 от 10.02.2015. Д.Д. Гайдт, О.Л. Мишин. Способ производства сжиженного природного газа и комплекс для его реализации.
11. Патент РФ № 2534832 от 12.10.2014. В.М. Гуреев, Э.Б. Мац, Г.В. Демидов, М.В. Гуреев. Способ раздачи природного газа с одновременной выработкой сжиженного газа при транспортировании потребителю из магистрального трубопровода высокого давления в трубопровод низкого давления.
12. Патент РФ № 2306500 от 20.09.2005. А.А. Беляев, В.Д. Глазунов, И.Г. Манилкин, М.А. Машканцев, Н.В. Пошернев. Способ сжижения природного газа.
13. Патент РФ № 2247908 от 10.03.2005. И.Л. Ходорков. Способ сжижения природного газа.
14. Патент РФ № 2009389 от 15.03.1994. С.Г. Валюхов, С.А. Соколов, В.Н. Веселов, А.И. Скуфинский, В.В. Лазарев. Способ работы газораспределительной станции.
15. *Roberts M.J.* Briton refrigeration cycles for small-scale LNG / M.J. Roberts, F Chen, O. Saygi-Arslan // Gas Processing, 2015, Vol. 4(1), C. 27-32.

УДК 629.081: 62-726.66; 621.86.076; 629.083

УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ В РАБОТОСПОСОБНОМ СОСТОЯНИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА

Рыбаков Александр Сергеевич,
группа АХМ-18,
Санкт-Петербургский горный
университет

Аннотация. В данной научно-исследовательской работе на основе анализа методов ТО и Р автомобилей рассмотрены устройства, позволяющие повысить качество выполнения работ и сократить время их проведения. Произведён анализ устройств и описаны основные преимущества по сравнению с аналогами.

Ключевые слова: автомобиль; транспортные средства; двигатель; форсунка; подъёмник; дизельный двигатель; кузов автомобиля; пресс-масленка

THE DEVICE FOR MAINTAINING VEHICLES IN WORKING CONDITION WHEN PERFORMING MAINTENANCE AND REPAIR

Rybakov Alexander Sergeevich,
group AHM-18,
Saint Petersburg Mining University

Abstract. In this research work on the basis of the analysis of methods of maintenance and repair of cars the devices allowing to increase quality of performance of works and to reduce time of their carrying out are considered. The analysis of devices is made and the main advantages in comparison with analogs are described.

Keywords: car; vehicles; engine; spray jet; lift; diesel engine; a vehicle body; press-greaser

В планово-предупредительной системе технического обслуживания и ремонта (ТО и Р), для поддержания транспортных средств в работоспособном состоянии внедряется новое оборудование и перспективные методы [1].

Наиболее эффективными методами проведения ТО и Р являются методы, направленные на поддержание деталей в работоспособном состоянии, в результате этого сокращается время проведения работ и их трудоёмкость.

Кузов легкового автомобиля является несущей конструкцией. Ремонт

кузова связывается с устранением всех дефектов, которые появились в этом узле в процессе эксплуатации [2]. К числу таких дефектов относятся усталостные и сварные трещины, ослабление заклёпочных и резьбовых соединений, коррозионные изъязвления, разрывы металла, прогибы и переносы стоек, упругая и пластическая деформации и др. [3].

Существующие устройства подъёмников-опрокидывателей обладают рядом недостатков, таких как: малая высота подъёма, отсутствие фиксаторов автомобиля на подхватах, возможно поперечное опрокидывание автомобиля [4, 5, 6, 7].

Для демонстрации данного подъёмника-опрокидывателя разработана 3D-модель для работы с полнокомплектным автомобилем (рис. 1), позволяющая наглядно продемонстрировать преимущества данного устройства, благодаря «жёсткому» закрепления автомобиля, с одной стороны с помощью крепления специальной опоры к ступице, а с другой – порогового захвата [8].

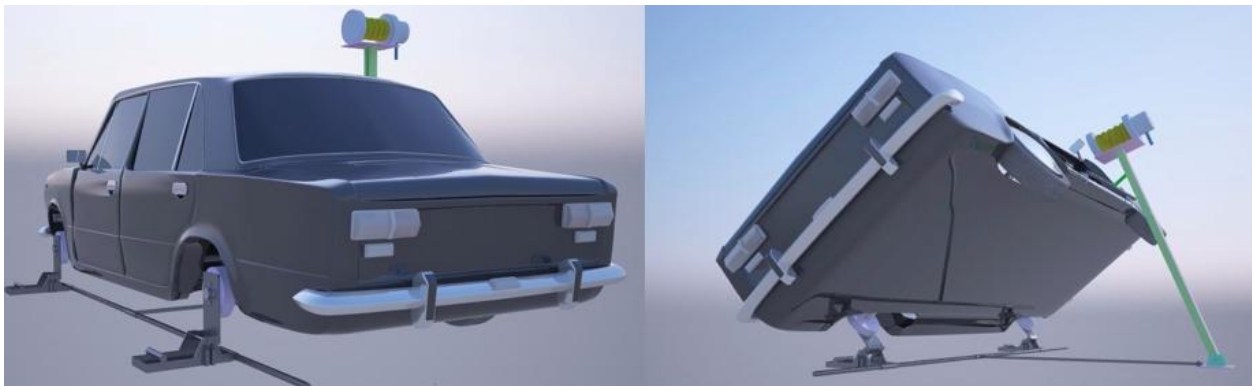


Рис. 1 - Подъёмник-опрокидыватель, авторское свидетельство № RU № 167367 U1

Данное устройство возможно использовать с разными марками автомобилей, в результате замены одной крепёжной пластины на другую. Принцип работы: перед началом подъёма к автомобилю крепятся пороговые захваты, а с другой стороны автомобиля снимаются колеса и к тормозным дискам привинчиваются пластины для крепления к диску колеса опор. При подъёме автомобиля, на расчётную высоту, грузозахватный орган тянет пороговый захват с порогом автомобиля вверх, в это время пластина для крепления к диску колеса поворачивается на оси основания опоры до тех пор, пока, пластина не упрётся в ограничитель, препятствующий перевороту кузова [9].

Подъёмник-опрокидыватель позволяет произвести работы с кузовом, а не с полнокомплектным автомобилем [10]. Построен на той же платформе что и устройство, приведённое выше [8], но отличается тем, что с одной стороны, за место крепления специальной опоры к ступице устанавливаются пороговые захваты (рис. 2).

Устройство для установки тефлонового уплотнения мультипликатора топливной форсунки дизельного двигателя, с системой *Common Rail* разработано в результате статического анализа частых отказов

мультипликатора топливных форсунок (рис. 3) [11].

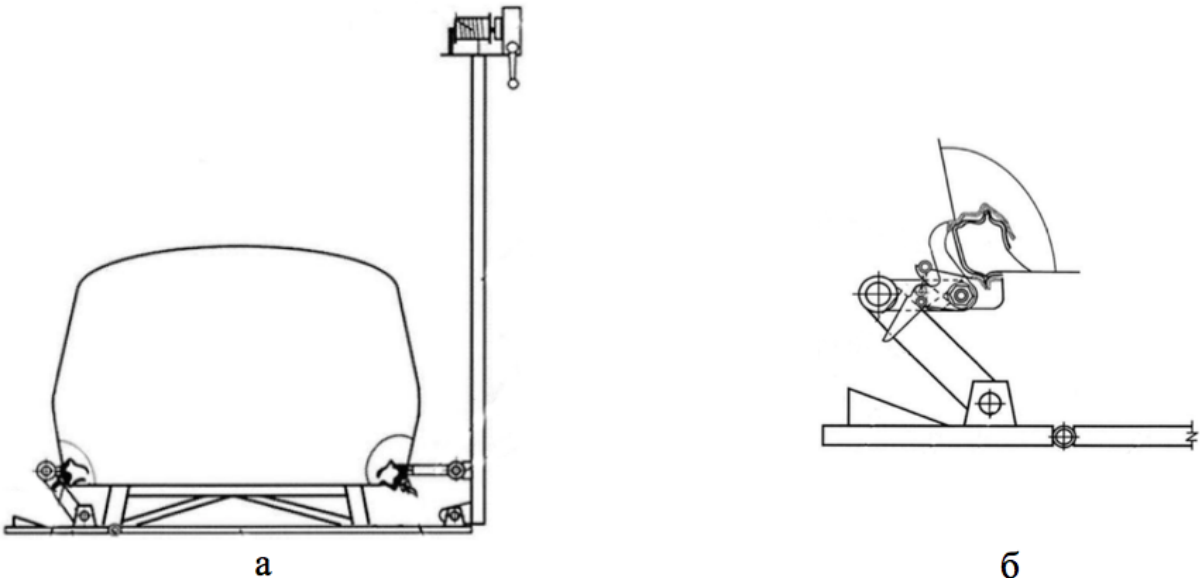


Рис. 2 - Подъёмник-опрокидыватель, авторское свидетельство № RU № 183497 U1:
а – общий вид подъёмника, б – изображение порогового захваты

По сравнению с аналогами сокращается, временя замены уплотнений мультипликатора форсунки аккумуляторной системы впрыска топлива, соответствующее технологическому процессу сборки инжектора [12, 13, 14].

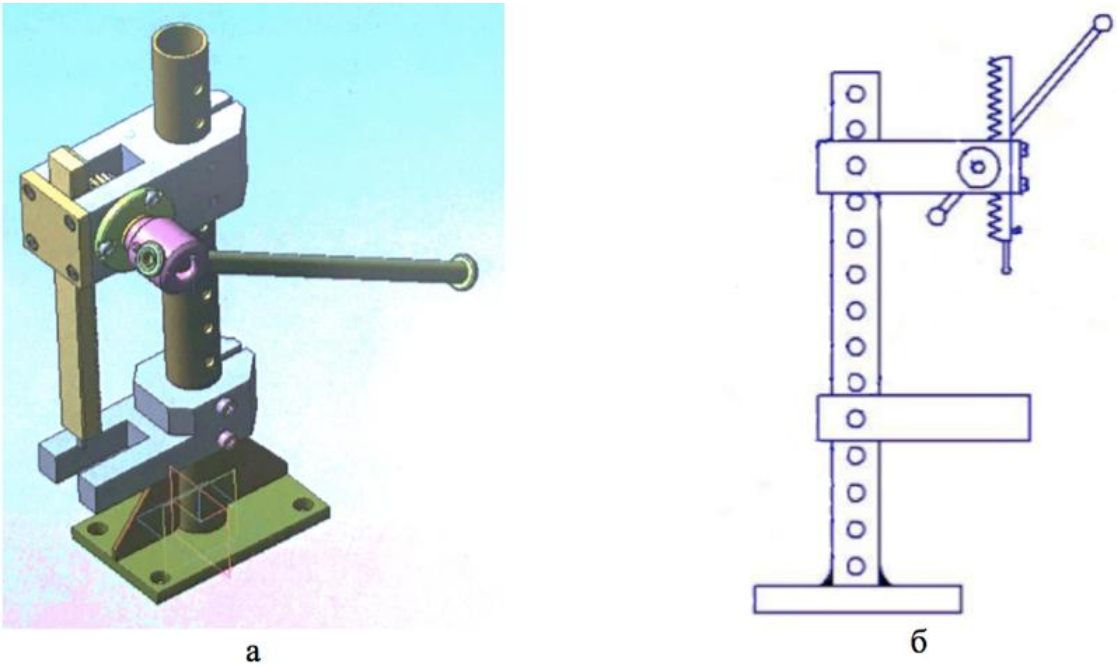


Рис. 3 - Устройство для установки тефлонового уплотнения, авторское свидетельство № RU № 170652 U1:
а – 3D – модель; б – схема-чертёж

Данное устройство позволяет вернуть форсункам с мультипликатором герметичность и тем самым обеспечить работоспособное состояние системы. Принцип замены состоит в следующем: в план-шайбу закрепляется

форсунка, после чего в неё впрессовывается тефлоновое уплотнение мультипликатора, с помощью наконечника со сферической головкой. Данный вид восстановления позволяет сократить затраты на приобретение дорогостоящих форсунок.

Для оптимизации смазочных операций при ТО автомобилей на предприятии, предлагается использовать установку для подачи консистентной смазки (рис. 4) [15].

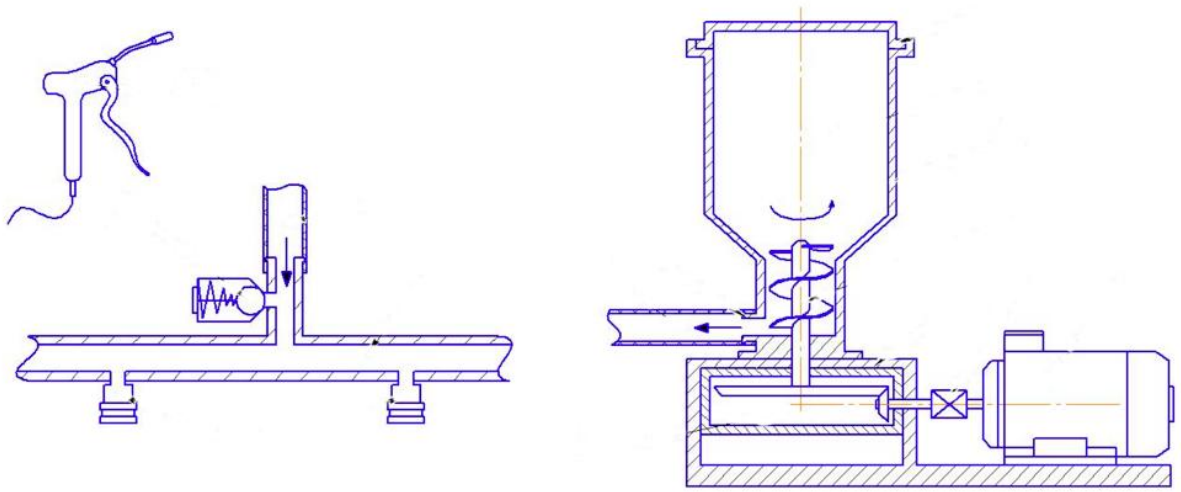


Рис. 4 - Общий вид установки для подачи консистентной смазки, авторское свидетельство № RU № 170139 U1

Данная установка предназначена для смазывания через пресс-маслёнки трущихся частей автомобилей, тракторов и других машин в АТП и СТО. Принцип работы: электродвигатель, через редуктор, приводит в движение шнековый насос, закачивающий смазку из ёмкости в накопитель, к которому подключаются пистолеты нагнетатели. Данный вид выполнения смазочных работ, по сравнению с аналогами, благодаря отдельно расположенному и легко обслуживаемому кассетному фильтру грубой очистки, даёт возможность работы сразу с несколькими раздаточными пистолетами, имеет компактное исполнение, а размещение аккумулятора в зоне ТО позволяет экономить место и обеспечить безопасность работ [16, 17]. Таким образом сокращаются временные затраты на обслуживание, через пресс-маслёнки, трущихся частей машин и повысить культуру работ.

Рассмотренные устройства, защищённые патентами, позволяют сократить трудоёмкость, упростить проведение ТО и Р, а также снизить материальные и временные затраты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент Таможенного союза 018/2011 «О безопасности колёсных транспортных средств» – М.: Решение Комиссии Таможенного союза, 2011. - 456 с.

2. *Терентьев А.В.* Обоснование рационального срока службы автомобилей: Монография // А.В. Терентьев, А.С. Афанасьев, Ю.Н. Кацуба. – СПб.: Свое издательство, 2017.
3. *Чумаченко Ю.Т.* Автослесарь. Устройство, техническое обслуживание и ремонт автомобилей: Учебное пособие / Ю.Т. Чумаченко, А.И. Герасименко, Б.Р. Рассанов. Под ред. А. С. Трофименко. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2011. - 576 с.
4. Универсальный стационарный цанговый опрокидыватель транспортных средств. Описание изобретения к авторскому свидетельству / В.В. Куюков, Ю.В. Евсюков, Р.А. Попов, патентный номер RU 101029, опубл. 10.01.2011 г.
5. Опрокидыватель для автомобилей. Описание изобретения к авторскому свидетельству / В.В. Петросов, Б.В. Прохоров, В.К. Коробченко, М.А. Хачатурьян, патентный номер SU 1782930 A1, опубл. 20.06.1997 г.
6. Опрокидыватель для автомобилей. Описание изобретения к авторскому свидетельству / Д.А. Рассмотров, патентный номер SU 2081810 C1, опубл. 20.06.1997 г.
7. Vehicle side tilting apparatus. Описание изобретения к авторскому свидетельству / D.H. Sherman, патентный номер US 5775870 A1, опубл. 07.07.1998 г.
8. Подъемник-опрокидыватель для легковых автомобилей. Описание изобретения к авторскому свидетельству / А.С. Афанасьев, Ю.В. Корякин, патентный номер RU 167367 U1, опубл. 10.01.2017 г.
9. *Афанасьев А.С.* Совершенствование конструкции подъёмника-опрокидывателя для выполнения кузовных работ / А.С. Афанасьев, А.С. Рыбаков // Международная научно-практическая конференция «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2018», секция «Круглый стол молодых учёных», 2018, С. 179.
10. Подъемник-опрокидыватель для кузова легковых автомобилей. Описание изобретения к авторскому свидетельству / А.С. Афанасьев, Ю.В. Корякин, патентный номер RU 183497 U1, опубл. 24.09.2018 г.
11. Устройство для установки запрессовки тефлонового уплотнения мультипликатора топливной форсунки дизельного двигателя. Описание изобретения к авторскому свидетельству / А.С. Афанасьев, И.И. Румянцев, патентный номер RU 170652 U1, опубл. 03.05.2017 г.
12. Arbor press with limiting device. Описание изобретения к авторскому свидетельству / Wu Tingfei, патентный номер CN 102729194 A1, опубл. 17.10.2012 г.
13. Time delay adjustable device based on active fiber grating coupler. Описание изобретения к авторскому свидетельству / Li Ziliang, Wang Ziyang, Tang Xiang Hong, Qi Yong-min, Woo Miao, Zhou Xuefang, патентный номер CN 203084362 U1, опубл. 24.07.2013 г.
14. Комбинированный сильфон. Описание изобретения к авторскому свидетельству / Р.Р. Обертюх, А.В. Слабкий, С.Р. Андрухов, патентный номер UA 95700 U1, опубл. 25.08.2011 г.

15. Установка для подачи консистентной смазки. Описание изобретения к авторскому свидетельству / А.С. Афанасьев, Н.С. Глинский, патентный номер RU 170139 U1, опубл. 03.05.2017 г.
16. Устройство для подачи смазки. Описание изобретения к авторскому свидетельству / С.А. Калашников, В.А. Телков, патентный номер RU 2244202 C2, опубл. 10.01.2005 г.
17. Автоматическое нагнетательное устройство высоковязких материалов. Описание изобретения к авторскому свидетельству / В.С. Безяев, А.А. Бирюков, А.В. Кашаев, В.В. Зинин, патентный номер RU 2499947 C1, опубл. 27.11.2013 г.

УДК 621.9:004.42

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОДГОТОВКИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ ТОКАРНО-ФРЕЗЕРНЫХ ОБРАБАТЫВАЮЩИХ ЦЕНТРОВ

Сафин Рамиль Альбертович,
группа ТОА–16,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра Машиностроения

Аннотация. В настоящей статье представлена информация по базовым аспектам разработки управляющих программ для автоматизированных токарно-фрезерных станков на базе ЧПУ различного вида и спецификаций. Проанализированы стандартные способы подготовки УП и отдельное внимание уделено автоматизированному составлению управляющих программ в CAM-системах.

Ключевые слова: подготовка управляющих программ; станки с ЧПУ; программирование; токарно-фрезерные обрабатывающие центры; технологии; оборудование; производство; автоматизация

MODERN PREPARATION METHODS OF CNC PROGRAMS FOR TURNING-MILLING CENTERS

Safin Ramil Albertovich,
group TOA–16,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. This article provides information on the basic aspects of developing CNC programs for turning-milling centers based on various types of CNC centers and their specifications. The standard methods of preparation of computer numeric program are analyzed and special attention is paid to the automated compilation of control programs in CAM systems.

Keywords: preparation of CNC programs; CNC machine; programming; turning-milling centers; technologies; equipment; manufacture; automatization

В современном мире, где огромное значение имеет оборудование с числовым программным управлением (ЧПУ), от качества подготовки управляющих программ (УП) для токарно-фрезерных обрабатывающих центров зависит качество всех аспектов производственной деятельности (от качества обработанных поверхностей до эффективности всего производства в

целом). Таким образом, задача анализа современных методов подготовки управляющих программ для систем с ЧПУ является особо актуальной [1-5].

Ручное программирование на данный момент времени применятся не так часто, в большей степени для обработки простых изделий на токарных либо сверлильных станках. Невзирая на это, специалисты, работающие с системами на базе ЧПУ, обязаны понимать основы ручного программирования в независимости от того, используется ли данный метод подготовки УП для станков на их производстве [11-14].

Хотя САМ-системы упростили работу операторам-программистам, зачастую появляется нужда в корректировке программ с применением САМ-систем вручную из-за выявления ряда ошибок на этапе отладки и тестовых прогонов. При этом требуемые корректировки программ зачастую малы по своему объему, например изменение параметров резания на станке. В таком случае применение САМ-систем для реализации таких простых задач попросту нецелесообразно.

Современные станки на базе ЧПУ имеют более широкий набор функций. Управляющие программы разрабатываются сразу на станке с ЧПУ, при этом затрачивается гораздо меньше времени на подготовку, так как используются шаблонные методы обработки и краткое описание контуров изготавливаемой детали. Такие способы оперативного программирования широко распространились лишь в последние десятилетия. Это связано с модернизацией существующих и появлением новых станков с ЧПУ. Воспользовавшись клавиатурой, дисплеем и системой управления станком, можно разработать УП и пронаблюдать имитацию ее работы в графическом виде на дисплеи станка ЧПУ с большой точностью.

Вместе с тем, если на производстве преобладают изделия со сложными профилями или главной задачей является наибольшая загрузка станка на базе ЧПУ, то выгоднее будет разработка управляющих программ на основе созданной 3D модели детали в САМ – системе.

Системы автоматизированной подготовки управляющих программ (САМ – системы) обеспечивают ускорение процесса разработки УП. Система анализирует исходную 3D модель и на ее основе выполняет обработку заготовки, с учетом введенной технологической информацией (точность обработки, шероховатость поверхности, материал обрабатываемой заготовки и инструмента и т.п.) [6,7,8].

Исходя из вышесказанного, стоит отметить, что на данный отрезок времени одним из главных факторов процесса производства деталей машин являются управляющие программы для автоматизированных токарно-фрезерных станков с системой ЧПУ. Тем не менее, наличие такого рода оборудования на предприятии не гарантирует роста качества изготавливаемых деталей на всех стадиях производственного процесса [9, 10, 15, 16]. Для соответствия высшим стандартам качества всем предприятиям необходимо вовремя осваивать и внедрять в свое производство современные методы подготовки управляющих программ для металлорежущих станков на базе ЧПУ, анализ которых и был произведен в данной статье.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Злотников Е.Г.* Обучение студентов машиностроительного направления программированию станков с ЧПУ на базе интерактивного учебного класса компании EMCO / Современные образовательные технологии в подготовке специалистов для минерально-сырьевого комплекса. Сборник научных трудов, 2018, С. 563-568.
2. *Mavliutov A.R.* Optimization of cutting parameters for machining time in turning process / A.R. Mavliutov, E.G. Zlotnikov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, Vol. 327 (4), 42069.
3. *Ershov D.Y.* Analysis of causes and mathematical description of process of manufacturing errors and local defects in mechanical system nodes / D.Y. Ershov, L.E. Koboyankwe, E.G. Zlotnikov // IOP Conference Series: Earth And Environmental Science. 2017, Vol. 87 (8), 082015
4. *Ershov D.Y.* Dynamic processes in technological systems of machining and the nature of their origin / D.Y. Ershov, E.G. Zlotnikov, L.E. Koboyankwe // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 87 (8), 82016.
5. *Злотников Е.Г.* Выбор технологической схемы переработки металлической стружки в автоматизированном производстве / Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, С. 91-93.
6. *Maksarov V.V.* The formation of surface roughness of piston rings for the purpose of improving the adhesion of wear-resistant coatings / V.V. Maksarov, V.A. Krasnyy, R.V. Viushin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 022047.
7. *Maksarov V.V.* The formation of surface roughness of piston rings for the purpose of improving the adhesion of wear-resistant coatings / V.V. Maksarov, V.A. Krasnyi // Key Engineering Materials, 2017, Т. 736, С. 73-78.
8. *Тимофеев Д.Ю.* Повышение точности изготовления прецизионных поверхностей детали шток гидроцилиндров / Д.Ю. Тимофеев, А.Е. Ефимов // Инновации на транспорте и в машиностроении: сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, Т. 3, С. 563–568.
9. *Тимофеев Д.Ю.* Повышение качества изготовления деталей из титановых сплавов с применением метода предварительного локального пластического деформирования / Д.Ю. Тимофеев, Е.В. Кошелева // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2017. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, 2017, С. 302-305.
10. *Халимоненко А.Д.* Анализ устойчивости работы многолезвийного инструмента, оснащенного режущей керамикой / А.Д. Халимоненко, Т.С. Голиков // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2017. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, 2017, С. 305–308.
11. *Моцаков С.А.* Подготовка управляющих программ для металлорежущих станков с ЧПУ / Главный механик, 2011, С. 31-38.

12. *Савельев А.А.* Параметрические методы подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ / Материалы 67-й научной конференции «Наука ЮУРГУ», 2015, С. 396-400.
13. *Звонцов И.Ф.* Разработка управляющих программ для оборудования с ЧПУ [Электронный ресурс]: учебное пособие / И.Ф. Звонцов, К.М. Иванов, П.П. Серебреницкий. – СПб.: Лань, 2018. – 588 с.
14. *Сурина Е.С.* Разработка управляющих программ для системы ЧПУ [Электронный ресурс]: учебное пособие. – СПб.: Лань, 2018. – 268 с.
14. *Гягяева А.Г.* Роль ручного программирования при составлении управляющих программ для станков с ЧПУ / А.Г. Гягяева, Л.А. Сорокина, Е.Р. Кожанва // Молодой ученый, 2015, Т. 8, С. 229-232.
15. *Злотников Е.Г.* Современные технологии переработки и брикетирования металлической стружки в автоматизированных производствах / Е.Г. Злотников, В.В. Максаров // Записки горного института, 2014, Т. 209, С. 37-41.
16. *Максаров В.В.* Влияние структурных параметров режущей керамики на работоспособность инструмента при обработке прецизионных поверхностей деталей горных машин / В.В. Максаров, А.Д. Халимоненко // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2017, Т. 8 (1), С 56-64.

УДК 656.031.8

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕВОЗОК ТЯЖЕЛОВЕСНЫХ ГРУЗОВ С УЧЕТОМ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ТРАНСПОРТНОЙ РАБОТЫ АТС

Сафиуллин Равиль Нуруллович,
д-р техн. наук, доцент,
Санкт-Петербургский горный университет,
Морозов Евгений Викторович,
адъюнкт,
Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева

Аннотация. В данной статье представлены результаты исследования причин разрушения дорожного полотна, которые позволили выявить взаимосвязь между движением тяжеловесных грузовых автомобилей и сверхнормативным износом дорожных конструкций, а также разработать управленческие и инфраструктурные решения, обеспечивающие оптимальное планирование перевозок тяжеловесных грузов с учетом снижения влияния на автомобильные дороги.

Ключевые слова: модель; планирование; тяжеловесные грузы; автомобильная дорога; автоматических систем контроля транспортной работы АТС

MODELING AND OPTIMIZATION OF PROCESSES OF TRANSPORTATION OF HEAVY CARGO WITH THE USE OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS OF TRANSPORT WORK ATS

Safiullin Ravil Nurullovich,
Doctor of tech. sc., Associate Professor,
Saint Petersburg Mining University,
Morozov Evgeny Viktorovich,
adjunct,
Military Academy of logistics named after army General A.V. Khrulev

Abstract. This article presents the results of a study of the causes of destruction of the roadway, which allowed to identify the relationship between the movement of heavy trucks and excessive wear of road structures, as well as to develop

management and infrastructure solutions to ensure optimal planning of transportation of heavy goods with a view to reducing the impact on roads.

Keywords: model; planning; heavy loads; road; automatic control systems of transport work of automatic telephone exchange

Ускоренные темпы роста промышленной сферы и строительства в РФ значительно увеличили объем перевозок КТГ на автомобильном транспорте. Транспортирование данной категории грузов автомобильным транспортом является одни из самых сложных видов автомобильных перевозок и, в тоже время, неотъемлемой частью промышленного и горнодобывающих комплексов. Существенным фактором, влияющим на эффективность перевозки КТГ, является то, что на автомобильных дорогах существует значительное количество ограничений, связанных с массой и габаритами перевозимого груза.

В процессе исследования процесса перевозок ТГ автомобильным транспортом выявлены три уровня перевозочного процесса: федеральный, региональный и локальный. Рассмотрены все стадии организации перевозочного процесса. На каждом уровне определены три основных типа автомобильных дорог, в зависимости от разрешенной осевой нагрузки транспортных средств, от которых зависит размер вреда, штраф за который взимается в рамках оформления разрешения на перевозку тяжеловесного груза, и причины, влияющие на состояние автомобильных дорог (рис. 1).

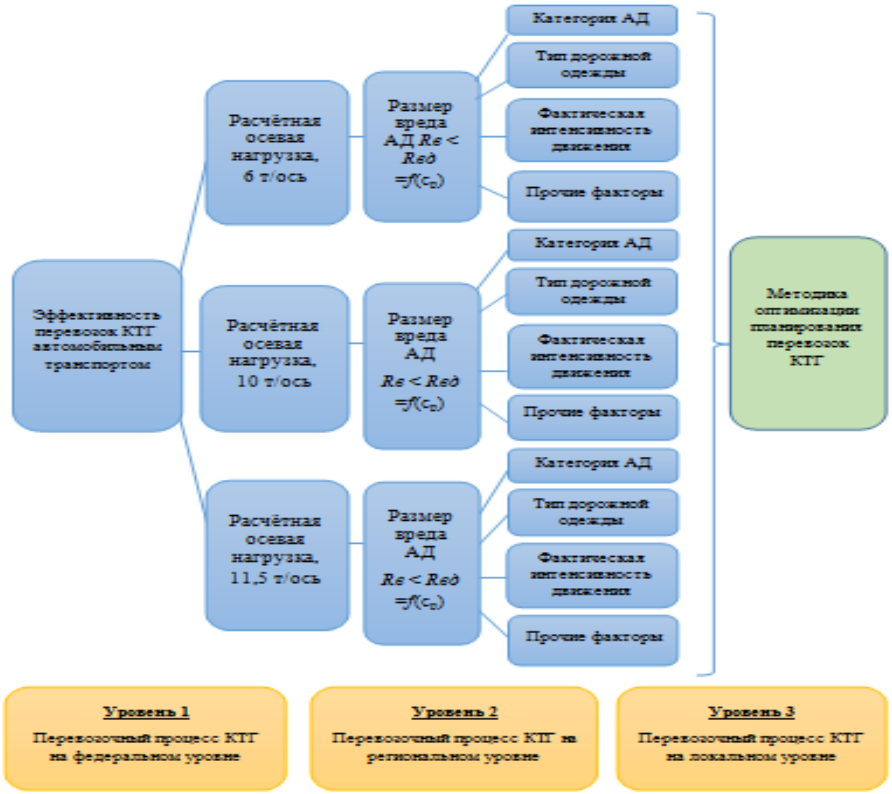


Рис. 1 - Оптимизационные уровни моделирования перевозочного процесса тяжеловесных грузов автомобильным транспортом

На каждом уровне перевозочный процесс оптимизируется по следующим критериям:

- объем транспортной работы в ***n***-й период не должен противоречить сохраняющейся тенденции увеличения перевозок автомобильным транспортом в последующем п + 1 периоде $P_{тр(п+1)} > P_{тр(п)}$ ($P_{тр(п)}$ не равно 0);

- размер вреда автомобильным дорогам от автотранспортных потоков $R_{в} < R_{вд} = f(c_{р})$ не должен быть больше размера, которые могут создавать АТС осуществляющих КТГ перевозки, превышающие допустимых по осям и общей массе.

Для уровней установлены общие ограничения: $A_{2i} \in A_{3i}$ и $L_{1k} \in L_{2k}$.

Оптимизационные модели имеют следующий вид:

Уровень 3:

$$P_3 = \sum f(A_{31}, A_{32},...A_{3п}; W_{31}, W_{32},...W_{3n});$$

$$R_3 = \sum f(A_{31}, A_{32},...A_{3n}; r_{з1}, r_{32},...r_{3п}), \qquad (1)$$

где A_{3i} - парк ***i-x*** АТС; W_{3i} и r_{3i} - соответственно, объем транспортной работы и размера вреда одной единицы ***i-x*** АТС за календарный период.

Уровень 2:

$$P_2 = L_{2k}\sum f(q_{21}, q_{22},...q_{2п}; A_{21}, A_{22}, ...A_{2п});$$

$$R_2 = L_{2k}\sum f(g_{21}, g_{22},...g_{2n}; N_{21}, N_{22},...N, \qquad (2)$$

где q_{2i} и g_{2i} - соответственно, транспортная работа и размер пробегового вреда ***i-x*** АТС КТГ на 1 км *k*-го участка длиной L_k, A_2i и N_{2i}, - число и интенсивность ***i-x*** АТС.

Уровень 1:

$$P_1 = \sum f(\omega_{11}, \omega_{12},... \omega_{1n}; t_{p11}, t_{p12},...t_{p1n})',$$

$$R_1 = \sum f[L_{2k}\, g_{1L}, + g_{1t}\,(t_{p11}, t_{p12},...t_{p1n})], \qquad (3)$$

где g_{1L} и g_{1t} – размер вреда пробегов ***i-x*** АТС КТГ под управлением ***j-x*** водителей; ω_{11} и t_{p11} - часовая производительность и время работы ***i-x*** АТС под управлением ***j-x*** водителей.

На уровнях 1, 2 оптимизируется численность и состав регионального автопарка. Структура автопарка региона должна соответствовать условиям ($C < C_{Д}$). Моделирование проводится для автопарков перевозчиков, имеющих разрешение на перевозку по федеральным, региональным автомобильным дорогам, а также перевозочные лицензии.

На уровне 3 оптимизируется режим движения индивидуального экипажа (водитель и автомобиль).

Для практической реализации моделей сформирована автоматическая система контроля движения по организации весового контроля с применением матричного QR-кода (рис. 2). В данную систему входят четыре основных узла, которые осуществляют контроль за объектом идентификации и передачу полученной информации: радарный датчик, видеокамера, считыватель матричного QR-кода, приемник широкополосного канала. Управление всеми узлами модуля идентификации осуществляется микропроцессором по трем шинам: управляющей, адресной и шине данных.

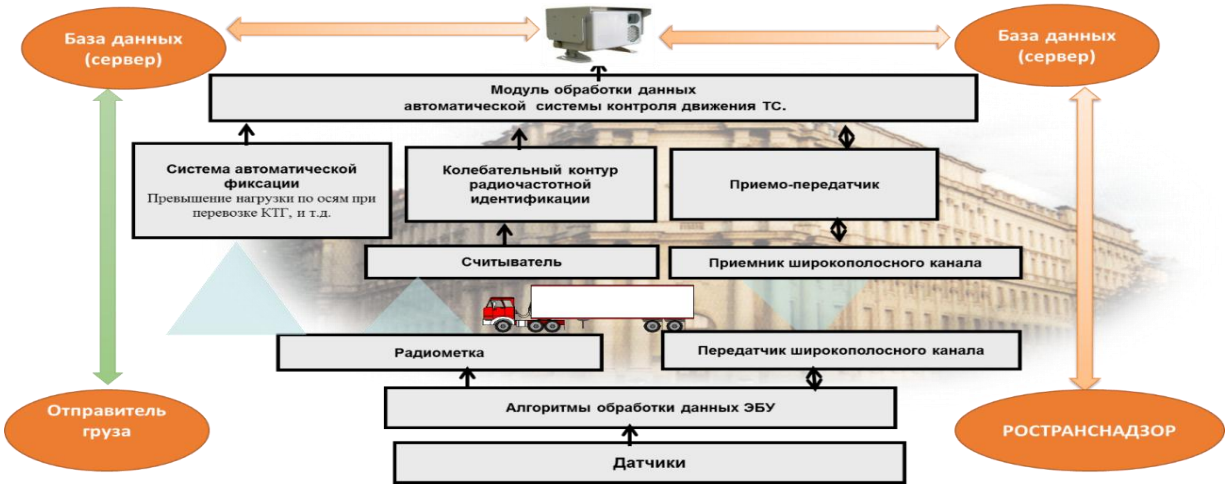


Рис. 2 - Схема организации весового контроля с применением матричный QR-кода

Таким образом, для обеспечения процесса оптимизации планирования перевозок КТГ необходим комплексный подход на основе построения математических моделей, отличающихся различным уровнем упрощения в описании процесса функционирования. Системный подход в планировании крупногабаритных и (или) тяжеловесных перевозок автомобильным транспортом заключается в подробном описании перевозочного процесса на всех уровнях (стадиях) его реализации. Данный подход позволит на стадии планирования эффективно организовать перевозочный процесс. Учитывая значимость обеспечения сохранности автомобильных дорог и контроль в этой области со стороны государственных органов, необходимо учитывать негативное влияние от движения тяжеловесных транспортных средств при планировании перевозки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сафиуллин Р.Н.* Средства фотовидеофиксации нарушений ПДД: нормативное регулирование и практика применения: монография / Р.Н. Сафиуллин, М.А. Керимов. – М.: Директ-Медиа, 2016. – 355 с.
2. *Сафиуллин Р.Н.* Эксплуатация автомобилей: учебник для вузов / Р.Н. Сафиуллин, А.Г. Башкардин. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Издательство Юрайт, 2018. 204 с. - (Серия : Университеты России).

3. *Kerimov M.A.* Evaluation of Functional Efficiency of Automated Traffic Enforcement Systems / M.A. Kerimov, A.V. Marusin // 12th International Conference «Organization and Traffic Safety Management in Large Cities», SPbOTSIC-2016, 28-30 September 2016, St. Petersburg, Russia, 2016, С. 288-294.
4. *Сафиуллин Р.Н.* Интеллектуальные системы автоматизированного мониторинга транспортных средств / Р.Н. Сафиуллин, Е.С. Решетник // Воронежский научно-технический вестник, 2018, Т. 2(24), С. 90-96.
5. *Вишневский В.М.* Анализ и исследование методов проектирования автоматизированных систем безопасности на автодорогах с использованием новых широкополосных беспроводных средств и RFID-технологий / В.М. Вишневский, А.А. Ларионов, Ю.В. Целикин // T_Comm: Телекоммуникации и транспорт, 2012, Т. 6(7), С. 48-54.
6. Сафиуллин Р.Н. Интеллектуальные бортовые транспортные системы на автомобильном транспорте: монография. - М.-Берлин: Директ-Медиа, 2017. – 354 с.

УДК 62-72

МОБИЛЬНЫЙ СМАЗОЧНО-ЗАПРАВОЧНЫЙ АГРЕГАТ, КАК ЭЛЕМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ГОТОВНОСТИ КАРЬЕРНОЙ ТЕХНИКИ

Сафрончук Кристина Альбертовна,
аспирант,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. Обеспечение максимальной производительности и поддержания безотказной работы карьерной техники и оборудования требуют грамотно организованной и своевременной смазки ее ресурсоопределяющих узлов, агрегатов и систем, своевременной заправки и замены лубрикатора. Ведутся работы по созданию мобильных и автономных технических средств для проведения работ по доставке, хранению, регенерации и сбору отработанных масел и смазок в рамках проведения плановых работ обслуживания техники. Основным агрегатом такого средства является насос высокого давления с изменяемой величиной подачи, входящего в комплекс мобильного смазочно-заправочного агрегата горных машин карьеров, для надежного проведения смазочно-заправочных операций технологий технического обслуживания, обеспечивающих снижение трудоемкости этих работ.

Ключевые слова: карьерная техника; насос; смазка; техническое обслуживание и ремонт; смазочно-заправочный агрегат

MOBILE LUBRICANT-FILLING UNIT, AS AN ELEMENT OF INCREASING READINESS OF CAREER TECHNOLOGY

Safronchuk Kristina,
postgraduate student,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. Ensuring maximum productivity and maintaining trouble-free operation of mining machinery and equipment requires well-organized and timely lubrication of its resource-determining units, assemblies and systems, timely filling and replacement of the lubricator. Work is underway to create mobile and autonomous technical equipment for the delivery, storage, regeneration and collection of used oils and lubricants as part of the scheduled maintenance of equipment. The main unit of this tool is a high-pressure pump with a variable feed rate, which is part of a mobile lubricant-filling unit for mining machines in a complex, for reliable lubrication and refueling operations of maintenance technologies that reduce the labor intensity of these works.

Keywords: quarry machinery; pump; lubrication; maintenance and repair; lubricating and filling unit

На сегодняшний день горнодобывающий сектор сталкивается с множеством проблем отрасли, это побуждает горнодобывающие компании сосредотачиваться на проблемах основного производства и уйти от, казалось бы, второстепенных проблемных вопросов – организации и осуществлению поддержания горного оборудования в надлежащей технической готовности, для поддержания необходимой ритмичности и производительности. В последние годы рост производительности в горнодобывающем секторе замедлился, и решение этой проблемы стоит на первом месте практически у каждого руководителя горнодобывающей компании. В первую очередь это относится к предприятиям, осуществляющим добычу полезных ископаемых открытым способом.

Чтобы минимизировать прямые материальные потери и увеличить прибыль, минимизируют эксплуатационные расходы, относя к ним расходы на техническое обслуживание и ремонт горной техники без привязки к горно-геологическим и горнотехническим условиям, учета организации работ по техническому обслуживанию и управлению тяжелым горно-шахтным оборудованием, которое обеспечивает ежедневную добычу. Затраты на эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт (ТОиР) горного оборудования не только составляют большую часть эксплуатационных расходов добывающего предприятия, но и сказываются на безопасности ведения работ [1]. Как правило, обеспечение максимальной производительности и поддержания безотказной работы карьерной техники и оборудования требуют грамотноq организованной и своевременной смазки ее ресурсоопределяющих узлов, агрегатов и систем, своевременной заправки и замены лубрикатора [2].

Необходимо отметить, что на проведение смазочно-заправочных работ, в среднем приходится 20-30 % от общего времени, отведенного на техническое обслуживание. Значительный объем работ проводится при сезонных обслуживаниях (СО), где предусмотрено и полное удаление старой смазки, промывка систем машины с заменой рабочей жидкости и т.д. [1, 3, 4].

Исследования показали, что несоответствующая смазка составляет более 53 % всех отказов подшипников [5, 6, 7, 8], что является основной причиной простоя из-за неплановых ремонтов и, связанных с этим потерь. Основная причина отказов обусловлена загрязнением смазки или недостаточным ее количеством. Неэффективная ручная смазка ведет к ее перерасходу, что в свою очередь сказывается на косвенных затратах предприятия, способствует загрязнению окружающей территории, интенсифицирует процессы изнашивания.

Альтернатива в виде автоматической централизованной системы смазки помогает устранить непредвиденные и ненужные расходы. Автоматическая система смазки распределяет небольшое точно выверенное количество смазочного материала через определенные промежутки времени

без остановки оборудования, тем самым поддерживая надлежащую смазку, распределяя её по подшипникам и уплотнениям, что в свою очередь предотвращает проникновение грязи и загрязняющих частиц в систему.

Основным преимуществом автоматической смазочной системы является непрерывная и частая подача небольшого дозированного количества смазки к узлам трения, что позволяет продлить срок службы оборудования.

Однако при выборе правильного типа смазки, оптимизации ее подачи в заданном количестве и через определенные интервалы времени, важно обеспечить этой смазкой горную машину, постоянно работающую при ведении горных работ [2, 9, 10, 11].

В настоящее время для удобства обслуживания, повышения качества этого обслуживания, механизации производства и сокращения экономических затрат при проведении ТОиР горных машин, задействованных при проведении основных и вспомогательных работ при реализации технологий добычи полезных ископаемых, ведутся работы по созданию мобильных и автономных технических средств для проведения работ по доставке, хранению, регенерации и сбору отработанных масел и смазок в рамках проведения плановых работ по ТОиР.

Подобные ремонтные мастерские могут размещаться на автомобилях, автомобильных и гусеничных прицепах, в железнодорожных вагонах, а также могут быть собраны и укомплектованы на базе 20-футовых или 40-футововых контейнеров.

Передвижные мастерские могут быть укомплектованы оборудованием для приема, хранения, раздачи и переработки различных жидкостей и материалов, необходимых для бесперебойной работы карьерной техники.

В связи с таким объемом нефтепродуктов комплекс работ по смазочно-заправочным мероприятиям обычно включает в себя ряд различных видов работ, для которых промышленность выпускает соответствующее оборудование самых разнообразных марок. Однако, несмотря на большую номенклатуру такого оборудования, основу каждого образца составляют идентичные конструктивные элементы: двигатель, дозирующий насос, резервуар, приборы (манометры и расходомеры), шланги, раздаточные устройства (пистолеты и др.).

На сегодняшний день при выполнении смазочно-заправочных работ при помощи передвижных мастерских возникают проблемы, связанные с продавливанием консистентной смазки в систему по причине невозможности создания необходимого давления отечественными дозирующими насосами марки НД [2, 12].

С целью оптимизации ТО, включающей в себя смазочно-заправочные работы, необходимо обосновать конструкцию и выбрать параметры насоса высокого давления с изменяемой величиной подачи в конструкции насоса, входящего в комплекс мобильного смазочно-заправочного агрегата горных машин карьеров, для надежного проведения смазочно-заправочных операций технологий технического обслуживания, обеспечивающих снижение трудоемкости этих работ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ivanov S.L.* Integral criterion of mining machines technical condition level at their operation / S.L. Ivanov, P.V. Shishkin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 87, 022009.
2. *Сафрончук К.А.* Механизированный смазочно-заправочный агрегат для выполнения работ по техническому обслуживанию на горных машинах / К.А. Сафрончук, В.И.Князькина, С.Л. Иванов // Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы машиноведения, безопасности и экологии в природопользовании». Тверь, 2018.
3. *Сафрончук К.А.* Применение автоматизированной централизованной системы смазки на горных машинах / К.А. Сафрончук, С.Л. Иванов // Материалы международной научно-практической конференции «Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация». Санкт-Петербург: СПбФ НИЦ МС, 2018, Т. 1, С. 237.
4. Анализ структуры и надежности современного парка карьерных экскаваторов / П.В. Иванова [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2017, Т. 7, С. 51-58.
5. *Deckert M.* Everything You need to know about automatic lubrication systems / Journal Je-bearing, 2015.
6. *Ольт Ю.* Исследование износостойкости подшипниковых узлов двигателей карьерных автосамосвалов, работающих в условиях фреттинг-коррозии / Ю. Ольт, В.В. Максаров, В.А. Красный // Записки Горного института, 2019, Т. 235, С. 70-77.
7. *Zvonarev I.E.* Evaluation of losses in transmission of machinery for development of mineral deposits in conditions of variable load / I.E. Zvonarev, S.L. Ivanov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 87, 022024.
8. Принципы построения модели технического состояния трансмиссии горной машины при ее эксплуатации / С.А. Асонов [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2017, Т. 3, С.15-27.
9. *Ivanov S.L.* Manufacturing and design technology of Combined corrected gearing and nonstandard Radial clearance / S.L. Ivanov, P.V. Shishkin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 194, 022013.
10. *Иванов С.Л.* Допустимый угол перекоса осей зубчатых передач механических трансмиссий машин / С.Л. Иванов, А.Ю. Кузькин, В.В. Скутельник // ВЕСТНИК ИрГТУ, 2017, Т. 21(9), С. 210-217.
11. *Иванов С.Л.* Изменение наработки современных отечественных экскаваторов ЭКГ от условий их функционирования / Записки горного института, 2016, Т. 221, С. 692-700.
12. *Бурданов В.Н.* Непрерывное дозирование жидкости насосами возвратно-поступательного действия. – СПб.: Геликон Плюс, 2012. – 224 с.

УДК 621.184.29

СПОСОБ СОВЕРШЕНСТОВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ «ТРОЙНИК» ТЕПЛООБМЕННИКА АТОМНОГО ЛЕДОКОЛА

Семенов Герман Эдуардович,
группа ТОА–15
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра Машиностроения

Аннотация. В статье рассмотрена возможность совершенствования технологии изготовления детали «тройник» теплообменника атомного ледокола. Проведён анализ конструкции, назначения и действующей технологии изготовления детали. Предложен способ совершенствования технологии изготовления детали.

Ключевые слова: ледокол; теплообменник; обработка детали; режущий инструмент.

METHOD OF IMPROVING THE TECHNOLOGY OF MANUFACTURING THE "T-PIECE" PART OF THE NUCLEAR-POWERED ICEBREAKER HEAT EXCHANGER

Semenov German,
group TOA–15,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. The article considers the possibility of improving the technology of manufacturing the "tee" part of the nuclear-powered icebreaker heat exchanger. The analysis of the design, purpose and operating technology of the part manufacturing is carried out. The method of improving the part manufacturing technology is proposed.

Keywords: icebreaker; heat exchanger; part machining; cutting tool.

На сегодняшний день использование Северного морского пути России является стратегическим фактором, связанным с геополитическим значением морского судоходства в арктической зоне. Для освоения северного ледовитого океана нужны мощные атомные ледоколы, особенно в зимний период, поэтому правительство РФ отдало приказ на их строительство наиболее быстрыми темпами.

Атомный ледокол – морское судно с ядерной силовой установкой, построенное специально для использования в водах, круглогодично

покрытых льдом. Эти ледоколы намного мощнее дизельных. Одним из главных преимуществ атомного ледокола является практически полное отсутствие необходимости в регулярной дозаправке топливом, когда такой возможности нет или дозаправка сильно затруднена. Почти все эти корабли были и будут построены на АО «Адмиралтейские верфи» и АО «Балтийский заводе» в г. Санкт-Петербурге.

Рис. 1 - Атомный ледокол «Ямал»

АО «Балтийский завод – Судостроение» - предприятие, которое специализируется в постройке надводных кораблей 1 ранга, судов ледового класса (ледоколов, многофункциональных судов-снабженцев, судов технического обеспечения работ на шельфе) с дизель-электрическими и атомными силовыми установками (рис. 1), атомных плавучих энергоблоков, плавучих опреснительных комплексов. Кроме этого на предприятии налажен выпуск широкого спектра изделий судовой энергетики и машиностроения для оснащения кораблей и судов собственной постройки и для поставок другим судостроительным предприятиям. В машиностроительной номенклатуре завода есть теплообменное оборудование для атомных станций, котельное оборудование, оснащение для судового машиностроения. Особое внимание при производстве уделяется теплообменникам.

Рис. 2 - Парогенератор ледокола

Назначением теплообменников является передача тепловой энергии между двумя средами, которые имеют различную температуру. Теплообменники получили широкое распространение в атомной энергетике. Там используются теплообменники рекуперативного, регенеративного и аварийного расхолаживания парогенератора (рис. 2). Основными элементами конструкции теплообменных аппаратов являются корпус, патрубки, трубы и перегородки. Для ответвления в трубной системе используются детали типа «тройник». В основном эти детали и другие элементы трубной системы изготавливают из нержавеющих сталей (например, из стали 08Х18Н10Т).

При эксплуатации узлы соединения детали испытывают сложные статические и динамические нагрузки и деформации, которые различаются не только по величине и по знаку, но и по периодичности или стохастичности. В то же время известны многочисленные случаи коррозионных повреждений металла теплообменных труб из стали 08Х18Н10Т, связанные с низким качеством поверхности труб, нарушением

норм водно-химического режима (ВХР), регламента химических отмывок, условий хранения, монтажа, пуско-наладки и различных нештатных ситуаций в процессе эксплуатации блока. Поэтому особые требования предъявляются к механической обработке деталей [1, 2, 3, 4, 5], обеспечивающей необходимую степень их точности для того, чтобы они прослужили весь эксплуатационный срок [6, 7, 8], который составляет более 60 лет. Однако, действующая на производстве технология изготовления деталей типа «тройник» (рис. 3) не может обеспечить необходимую степень производительности из-за постоянного роста спроса на детали данного типа.

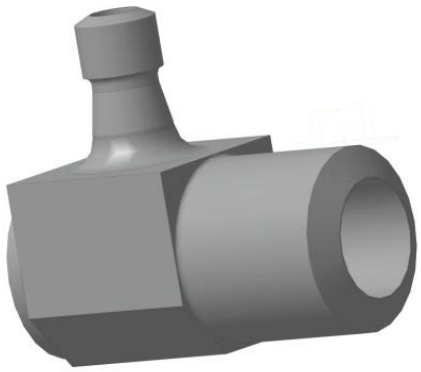


Рис. 3 - 3D-модель детали «тройник»

Чтобы увеличить производительность изготовления без потери качества обработки детали был проведен анализ действующей технологии с целью ее совершенствования.

После проведенного анализа действующего технологического процесса изготовления детали, состоящего из 23 операций, был сделан вывод, что данная технология устарела, так как в ней используется низкопроизводительные станки с ручным управлением, что приводит к снижению производительности труда и повышению себестоимости изготовления деталей.

Для совершенствования действующего технологического процесса изготовления детали «тройник» и снижения себестоимости производства часть токарных операций, выполняемых на универсальных станках, была сконцентрирована на одном высокопроизводительном токарно-фрезерном центре с ЧПУ, обладающим достаточной степенью точности и жесткостью, что позволило применить для обработки точных поверхностей керамический режущий инструмент [9, 10, 11, 12, 13].

Данный способ совершенствования технологии изготовления детали «тройник» позволил сократить количество технологических операций до 14, увеличить производительность обработки в 1,5 раза и уменьшить себестоимость производства в 2 раза. Дополнительным эффектом от внедрения предложенной технологии является возможность применения технологии переработки и брикетирования стружки в автоматизированных производствах [14, 15].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Максаров В.В.* Моделирование динамических процессов механической обработки в среде NI LabVIEW для совершенствования технологии изготовления деталей горных машин / В.В. Максаров, А.Е. Ефимов, Д.А. Осминко // Металлообработка, 2018, № 1 (103), С. 6-13.

2. *Максаров В.В.* Влияние ступенчатого характера движения суппорта на качество изготовления сложнопрофильных деталей / В.В. Максаров, Р.В. Вьюшин // Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, С. 91-93.
3. *Тимофеев Д.Ю.* Повышение точности изготовления прецизионных поверхностей детали шток гидроцилиндров / Д.Ю. Тимофеев, А.Е. Ефимов // Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, С. 142-145.
4. *Тимофеев Д.Ю.* Повышение качества изготовления деталей из титановых сплавов с применением метода предварительного локального пластического деформирования / Д.Ю. Тимофеев, Е.В. Кошелева // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME-2017. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, 2017, Т. 1, С. 302-305.
5. *Красный В.А.* Перспективы использования метода направленного затвердевания металла для повышения эксплуатационных свойств деталей машин. / В.А. Красный, В.П. Груша, В.Ф. Бевза // Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, С. 68-72.
6. *Maksarov V.V.* Simulation of dynamic processes when machining transition surfaces of stepped shafts / V.V. Maksarov, R.V. Viushin, V.A. Krasnyy // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018, Vol. 327, 022047.
7. *Mavliutov A.R.* Optimization of cutting parameters for machining time in turning process / A.R. Mavliutov, E.G. Zlotnikov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018, Vol. 327, C. 42069.
8. *Ershov D.Y.* Dynamic processes in technological systems of machining and the nature of their origin / D.Y. Ershov, E.G. Zlotnikov, L.E. Koboyankwe // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 87 (8), C. 82016.
9. *Халимоненко А.Д.* Точность обработки при точении заготовок режущим инструментом, оснащенным сменными керамическими пластинами / А.Д. Халимоненко, Р.В. Вьюшин // Записки горного института, 2014, Т. 209, С. 99-103.
10. *Maksarov V.V.* Quality assurance during milling of precision elements of machines components with ceramic cutting tools / V.V. Maksarov, A.D. Khalimonenko // International Review of Mechanical Engineering, 2018, Vol. 12 (5), C. 437-441.
11. *Максаров В.В.* Обеспечение качества при фрезеровании режущей керамикой точных элементов узлов и деталей машин / В.В. Максаров, А.Д. Халимоненко // Современное машиностроение. Наука и образование. 2017, Т. 6, С. 572-582.
12. *Максаров В.В.* Влияние структурных параметров режущей керамики на работоспособность инструмента при обработке прецизионных поверхностей деталей горных машин / В.В. Максаров, А.Д. Халимоненко // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2017, Т. 8 (1), С 56-64.

13. *Халимоненко А.Д.* Анализ устойчивости работы многолезвийного инструмента, оснащенного режущей керамикой / А.Д. Халимоненко, Т.С. Голиков // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME-2017. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, 2017, Т. 1, С. 305-308.
14. *Злотников Е.Г.* Выбор технологической схемы переработки металлической стружки в автоматизированном производстве / Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, С. 91-93.
15. *Злотников Е.Г.* Современные технологии переработки и брикетирования металлической стружки в автоматизированных производствах / Е.Г. Злотников, В.В. Максаров // Записки Горного института, 2014, Т. 209, С. 36-38.

УДК 62.799

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ПАРАФИНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В МАГИСТРАЛЬНОМ НЕФТЕПРОВОДЕ

Коптева Александра Владимировна,
К.т.н., доцент,
Санкт-Петербургский горный университет,
Семенюк Александра Вадимовна,
магистрант,
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Аннотация. В работе предлагается методика измерения АСПО при транспортировке нефти магистральными трубопроводами. В основе системы измерения предлагается использование радиоизотопного излучения, позволяющего без внедрения в поток осуществлять измерение толщины АСПО на внутренней поверхности трубопровода. Представлен основной алгоритм измерения и расчетные формулы.

Ключевые слова: радиоизотопное измерение; нефть; парафиновые отложения; магистральные нефтепроводы; гамма-излучение; фотоэлектронный умножитель; сцинтилятор; детектор; преобразователь

IMPROVEMENT OF MONITORING SYSTEMS FOR PARAFFIN DEPOSITS IN THE OIL PIPELINE

Kopteva Alexandra Vladimirovna,
Associate professor,
Saint-Petersburg Mining University,
Semenyuk Alexandra Vadimovna,
graduate student,
St.Petersburg Electrotecnical University “LETI”

Abstract. The paper proposes a method of measuring paraffin deposits during oil transportation by trunk pipelines. The measurement system is based on the use of radioisotope radiation, which allows measuring the thickness of paraffin deposits on the inner surface of the pipeline without introducing into the flow. The basic measurement algorithm and calculation formulas are presented.

Keywords: radioisotope measurement; oil; paraffin deposits; oil trunk pipelines; gamma radiation; photoelectron multiplier; scintillator; detector; transducer.; converter.

Трубопроводный транспорт нефти и газа занимает одну из лидирующих позиций среди остальных видов транспорта и играет главную роль в формировании трендов экономического развития в Российской Федерации, так и во многих зарубежных странах [1]. Однако данный способ транспортировки имеет ряд недостатков, которые вызывают осложнения в работе трубопроводных коммуникаций, и как следствие, приводит к возникновению аварийных ситуаций.

Почти каждая пятая авария является результатом осаждения парафиновых отложений на внутреннюю поверхность трубопровода (по данным аналитических исследований ООО «Лукойл-Коми» на 2017 год). Соответственно, решение проблемы, связанной с отложением парафинов, является наиболее важной задачей для нефтедобывающей промышленности. Для эффективной борьбы с асфальто-смоло-парафиновыми отложениями (АСПО) необходима разработка методов и приборов своевременного обнаружения сформировавшихся отложений.

Исследования, проводимые в рамках данной работы, посвящены изучению разработке бесконтактного метода измерения АСПО в магистральном трубопроводе. В качестве решения данной проблемы предлагается использование и совершенствование перспективного, не имеющего аналогов в мире метода контроля на основе радиоизотопного излучения. Разработанная система измерения, основанная на фотоэлектронном поглощении, состоит из двух составляющих: первичный преобразователь, взаимодействующий с исследуемой средой и выявляющий информативный параметр, и вторичный прибор, в котором происходит обработка, и представление полученного значения. В состав первичного измерительного преобразователя входят блок гамма-излучения, представленный в виде защитного коллимирующего устройства для формирования узкого пучка излучения радионуклида Cs-137 в области энергий 0,2 - 1,0 МэВ, и блок детектирования (БД), в основе которого используются сцинтилляционный кристалл NaJ(Tl), фотоэлектронный умножитель, формирователь импульсов.

Способ измерения толщины слоя парафина в трубопроводном транспорте нефти включает облучение потока сырья узким пучком ионизирующего излучения, регистрацию прошедшего через контролируемую среду излучения в различных точках сечения трубопровода и формирование соответствующих информационных сигналов в виде дискретных отсчетов. Затем происходит определение толщины слоя парафина путем обработки результатов измерения прошедшего излучения.

Интенсивность первичного радиоизотопного излучения связана с плотностью ρ вещества и его толщиной δ следующей зависимостью и описывается законом Бугера-Ламберта-Бера [2]:

$$I = I_0 \cdot \exp(-\mu\rho\delta).$$

В нашем случае контролируемую среду можно разделить на 3 участка: стенка трубопровода (1 участок), стенка трубопровода с осажденным на ней парафином (2 участок) и стенка трубопровода с парафином и транспортируемым нефтяным потоком (3 участок). Тогда, интенсивность гамма-излучения для участков 1, 2, 3 соответственно:

$$I_1 = I_0 \cdot \exp(-\mu_{ст}\rho_{ст}\delta_{1ст}),$$

(1 участок),

$$I_2 = I_0 \cdot \exp[(-\mu_{ст}\rho_{ст}\delta_{2ст} + \mu_п\rho_п\delta_{2п})],$$

(2 участок) ,

$$I_3 = I_0 \cdot \exp[(-\mu_{ст}\rho_{ст}\delta_{3ст} + \mu_п\rho_п\delta_{3п} + \mu_н\rho_н\delta_{3н})],$$

(3 участок),

$$\delta_{1ст} = 2R\sin(\arccos\frac{R-\Delta}{R});$$

$$\delta_{2ст} = \delta_{1ст} - 2R\sin(\arccos\frac{R-\Delta}{r});$$

$$\delta_{2п} = 2r\sin(\arccos\frac{r-\Delta}{r});$$

$$\delta_{3ст} = \delta_{2ст};$$

$$\delta_{3п} = \delta_{2п} - D\sin(\arccos 2\frac{R-\Delta}{D}),$$

где: I_1, I_2, I_3 – интенсивность первичного излучения, регистрируемого детектором в данном объеме в присутствии абсорбирующего материала соответственно на 1, 2 и 3 участках поперечного сечения трубопровода;
$\rho_{ст}$, $\rho_п$, $\rho_н$ – плотность стали стенки трубопровода, парафина, и нефти; $\delta_{ст}$, $\delta_т$, $\delta_н$ – эквивалентная толщина стальной стенки трубопровода, парафина и нефтяной фазы соответственно;
$\mu_{ст}$, $\mu_п$, $\mu_н$ – массовый коэффициент ослабления первичного излучения стальной стенкой трубопровода, парафином и нефтяным потоком соответственно;

Δ – расстояние от края трубопровода до точки сканирования в данный момент по направлению перемещения всей измерительной системы;
R, r – наружный и внутренний радиусы трубопровода в данном сечении;
D – диаметр трубопровода.

На рис. 1 представлена зависимость интенсивности излучения от глубины проникновения гамма-излучения в контролируемый поток, состоящей из нефтяного потока 1, парафинового слоя 2, стенки трубопровода 3; а – излом кривой при переходе от парафина к нефти, б – излом кривой при переходе от стальной стенки к парафину [3]. При этом измеряемая толщина парафиновых отложений определяется по изломам кривой.

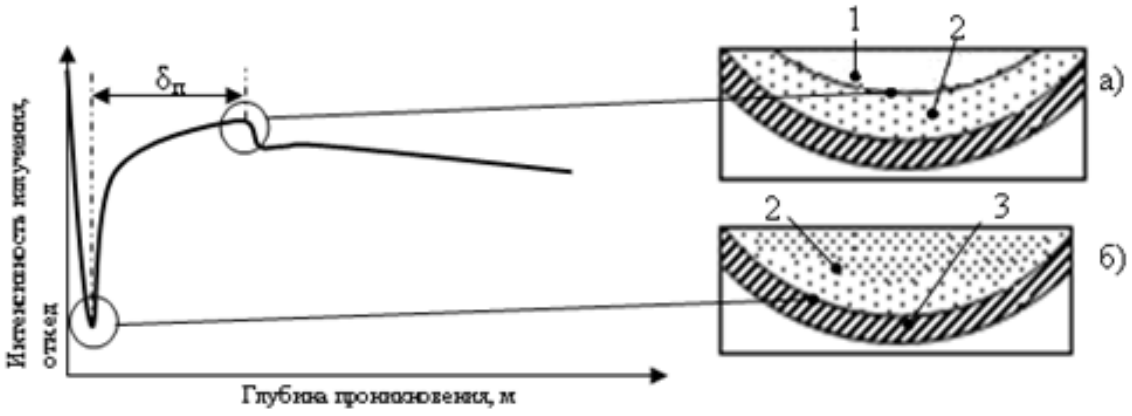


Рис. 1 – Зависимость интенсивности гамма излучения от толщины парафинового слоя на внутренней стенке трубопровода:
а) - излом кривой при переходе от парафинового слоя к нефти; б) - излом кривой при переходе от стальной стенки к парафиновому слою

Разработанная методика бесконтактного автоматического измерения толщины осажденного слоя парафина на внутренней поверхности трубопровода имеет абсолютную погрешностью ± 5 мм, что является достаточным условием для обеспечения надежной работы трубопроводной системы. Система измерений позволит обеспечить своевременное обнаружение АСПО и как следствие позволит предотвратить аварийные ситуации на трубопроводном транспорте.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Коптева А.В.* Разработка систем мониторинга парафиновых отложений при транспортировке нефтяных потоков / А.В. Коптева, А.В. Семенюк // Современная наука и практика, 2016, Т. 9(14), С. 27-30.
2. *Bieberle A.* Gamma-ray computed tomography for imaging of multiphase flows / A. Bieberle, H. Härting // Chemie Ingenieur Technik, 2013, Vol. 7, C. 1002–1011.
3. *Коптева А.В.* Многопараметрический мониторинг магистральных нефтепроводов на основе радиоизотопного излучения: Автореферат

диссертации кандидата технических наук: 05.11.13. – СПб.: Минерально-сырьевой ун-т «Горный, 2013. - 20 с.

УДК 621.311

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ СОЗДАНИЯ САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩЕЙСЯ СЕТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Сенчило Никита Дмитревич,
аспирант,
Санкт-Петербургский горный университет, кафедры электроэнергетики и электромеханики

Аннотация: целью настоящего исследования является рационализация производимого операционного воздействия при ликвидации аварийных режимов в сети электроснабжения промышленного предприятия, а также поддержание параметров функционирования сети электроснабжения в установленных пределах. В настоящей статье рассмотрены принципы функционирования мультиагентных систем как средства для создания самовосстанавливающейся распределительной сети среднего напряжения, в которой все локальные агенты (устройства контроля и управления) обладают информацией о текущем состоянии сети и работают как единая система для достижения общей цели – автоматического восстановления электроснабжения потребителей. В настоящем исследовании ключевую роль играет термин «распределенного искусственного интеллекта», которые совмещает схемы адаптивной защиты с алгоритмами самовосстановления.

Ключевые слова: активно-адаптивные сети; мультиагентные системы; искусственный интеллект; электроснабжение промышленных предприятий; самовосстановление сети

EXPLORING OF USE THE MULTI-AGENT SYSTEM TO CREATE A SELF-RECOVERING ELECTRICAL GRID.

Senchilo Nikita,
postgraduate student,
Saint-Petersburg Mining University,
Electrical energy and Electrical Mechanics Department

Abstract. Self-healing intended to minimize the number of switches and reducing temporarily the power recovery interval greater part load disconnected due to a fault, and to maintain network performance parameters within acceptable limits.
This article discusses the principles of multi-agent systems for the development of the system of self-healing power grid of medium voltage, where all the local agents (switch control terminals) have access to information about the current state of the

network and work together to achieve a common goal - automatically recovering power supply scheme. In the present research, as the key to solve the problem of creating a self-healing network is proposed "Distributed Artificial Intelligence» (DAI), which combines adaptive protection schemes with algorithms of self-recovering.

Keywords: smart grid; multi-agent systems; artificial intelligence; power supply; self-recovering

DAI can be defined as a field of knowledge, design or hardware implementation of multi-agent system (MAS), where a count of intelligent devices (agents) interact with each other to achieve some of the goals or of a number of solutions [1]. Agents must take flexible and at the same time autonomous actions. Agent's flexibility is the ability to respond to external influence, act pre-emptively and interact [2].

Thus, MAS are supposed to be an excellent way to describe and develop distributed computer systems [3], which are necessary for self-healing networks.

MAS management structure based on the procedures for self-healing consists of 2 layers: feeder and power center. Agents of the power center monitor districts of distribution networks, limited by protection devices, perform simple calculations and implement management action.

Feeder Agents involved in the exchange of information through bilateral channels. Thus, after automatic operation of the circuit breaker closest to the fault agent must localize and isolate (disable) the damaged area, while other agents are involved in the recovery procedure.

A similar structure was proposed in [4], wherein MAS is divided into 3 layers: response, coordination and organization. Some modules of agents with such essential functions as pre-processing, localization of damage, topology analysis, reconfiguration and scheme recovering realize a rate of response.

The authors of [5] believe that the fast and efficient reconfiguration is required to implement automatic self-healing properties in to electrical network. Therefore, they propose a hierarchical decentralized MAS architecture where the agents are responsible for the reconfiguration of some subsystems, i.e. sections into which is divided the electrical network.

Coordination between agents in architecture like this is crucial, because every agent has to collect local data to solve problems of local reconfiguration and make a decision of the implementation of the control actions.

MAS are proposed as a computer (computing) tool of the network control center; the implementation of MAS therein is aimed at reducing the time of implementation of self-recovering algorithms (processing time).

Moreover, the agents perform their functions even after a shutdown of circuit breaker; therefore, in the case of application of MAS centralized architecture, there is a significant time interval between disconnecting the power supply (an accident) and its automatic restoration, depending on the needs for operation.

European Technology Platform for Smart Grids defines the concept of self-recovering as a strategy for the automatic restoration of power in electric networks with high levels of preventive decentralized management. In this vein, there is proposed an implementation of distributed MAS, where relay protection and automation devices act as distributed intelligent agents, adapting to changes in the electrical network in real time.

On the one hand, the coordinating agent may be developed to determine the mutual influence of local agents. On the other hand, the agents may be designed to interface directly with each other without the need for special additional agent.

The first model assumes a hierarchical structure of the levels of management, where upper level defines functions of the low-level, while the second model provides the integration in accordance with the "awareness" of agents of mutual status and network state as a whole. Both approaches have their place, but the first is more reliable for the tasks of operational dispatch management [6].

Thus, as Fig. 1 presents, a multilevel architecture of smart grid allows to produce a long (continuous) preventive analysis of network on different management levels.

Information is transmitted in both directions and can be transmitted cyclically: the measurement results are transmitted to the state estimation module, and then are returned as control parameters of the agents - switch controllers, which reduce damage and recover a distribution network for short time.

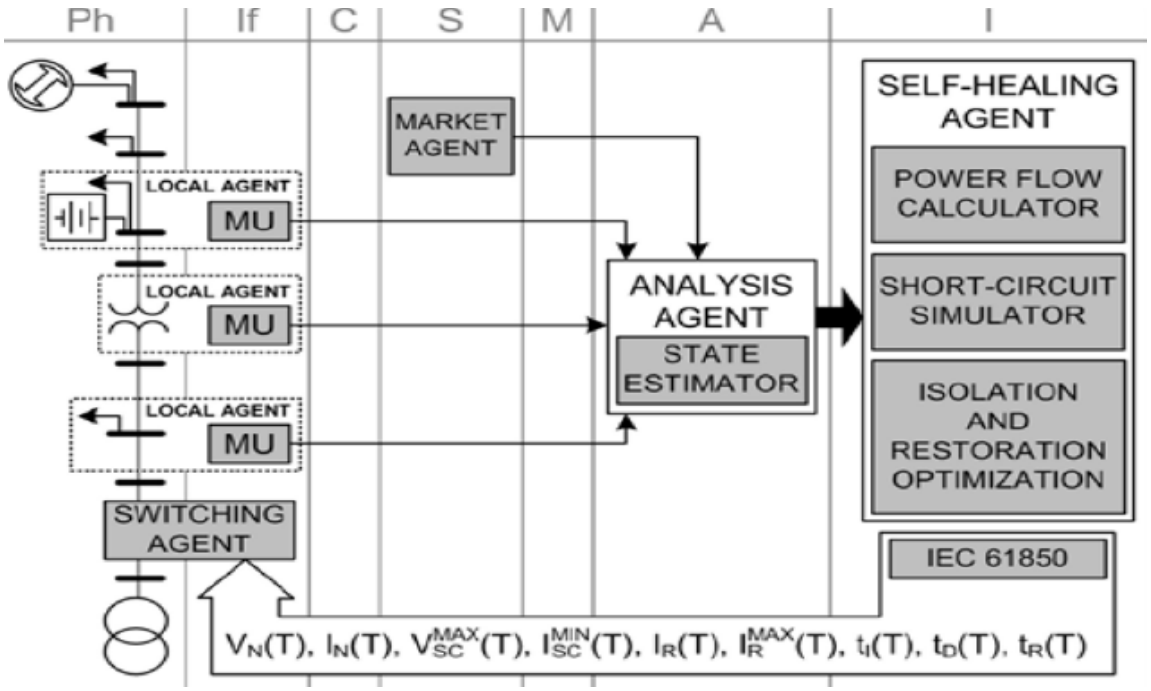


Fig. 1 - A multilevel architecture of smart grid

Processes of monitoring and control create a cycle that repeats with a periodicity T and starts to measure currents and voltages on the physical level (Ph). Measurements are distributed over the network local agents (they belong to the intermediate layer (If)) by field connection devices (M).

On the upper levels agents are more complex, endowed with specific functions to aggregate data received from lower level agents. For example, the analyzing agent receives data from local agent and market agent (respectively, measurement results and the electricity market data, which are used for real-time assessment of the state of the distribution network).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Weiss G.* Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence. - Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1999.
2. *Wooldridge M.* Intelligent agents / Multiagents Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1999, C. 27–78.
3. Huhns M.N. Multiagent systems and societies of agents / M.N. Huhns, L.M. Stephens // Multiagents Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1999, C. 79–120.
4. *Liu H.* The control and analysis of self-healing urban power grid / H. Liu, X. Chen, K. Yu, Y. Hou // IEEE Trans. Smart Grid, 2012, Vol. 3(3), C. 1119–1129.
5. *Ding F.* Hierarchical decentralized network reconfiguration for smart distribution systems. Part I: Problem formulation and algorithm development / F. Ding, K.A. Loparo // IEEE Trans. Power Syst., 2015, Vol. 30(2), C. 734–743.
6. *Cuena J.* Distributed models for decision support / J. Cuena, S. Ossowski // Multiagents Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1999, C. 459–504.

УДК 621.78(32)

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ФЛЮСЫ В ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ЛЕГКОПЛАВКИХ РАСПЛАВОВ

Сердюк Никита Александрович,
Кончус Дарина Александровна,
аспиранты,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра МиТХИ

Аннотация. В данной работе изложены результаты химико-термической обработки конструкционной стали из расплавов легкоплавких металлов с применением флюса с целью нанесения защитных коррозионностойких покрытий для изделий и оборудования машиностроения, нефтегазового и горнодобывающего комплекса.

Ключевые слова: химико-термическая обработка; защитное покрытие; расплавы легкоплавких металлов; флюсы

INDUSTRIAL FLUXES IN THE TECHNOLOGY OF INFUSION BY LOW-MELTING MELTS FOR PROTECTIVE COATINGS

Serdiuk Nikita Aleksandrovich,
Darina Aleksandrovna Konchus,
postgraduate students,
Saint-Petersburg Mining University

Abstract. This article presents the results of chemical and thermal treatment of structural steel from melts of fusible metals using flux for the purpose of applying protective corrosion-resistant coatings for products and equipment of engineering, oil and gas and mining complex.

Keywords: chemical and thermal treatment; protective coating; melts of fusible metals; fluxes

Для решения проблемы коррозии используются различные методы нанесения защитных покрытий. Наиболее эффективным методом является химико-термическая обработка из жидкой фазы, связанный с диффузионным насыщением поверхностных слоев изделий различными химическими элементами. Данный метод позволяет сохранить длительность процесса и повлиять на эксплуатационные свойства поверхностных слоев изделий [1].

Технология нанесения покрытия предполагает предварительную обработку изделий. Использование флюса обеспечивает очистку образца от

оксидов при высокотемпературном воздействии воздушной атмосферы печи [2, 3].

В табл. 1 показан химический состав паяльных флюсов (ГОСТ 23178), которые могут быть использованы как вспомогательный материал для удаления оксидов с поверхности обрабатываемого материала [4].

Таблица 1

Химический состав паяльных флюсов по ГОСТ 23178

Марка флюса	Бура ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$)	Калий фтористый (KF)	Бора окись (B_2O_3)	Кальций фтористый (CaF_2)	Калий тетрафторборат (KBF_4)	Лигатура (Al-Cu-Mg)	Температурный интервал Активности, °С
ПВ-200	18-20	-	65-67	14-16	-	-	800-1200
ПВ-201	11-13	-	76-78	9,5-10,5	-	0,9-1,1	800-1200
ПВ-209	-	41-43	34-36	-	22-24	-	700-900

Бура, представляющая собой натриевую соль тетраборной кислоты, является важнейшим компонентом флюсов ПВ-200 и ПВ-201. Расплавленная бура образует при охлаждении глазурь, которая растворяет окислы металлов и предохраняет расплав от доступа кислорода, что значительно облегчает процесс нанесения защитных покрытий [5-9].

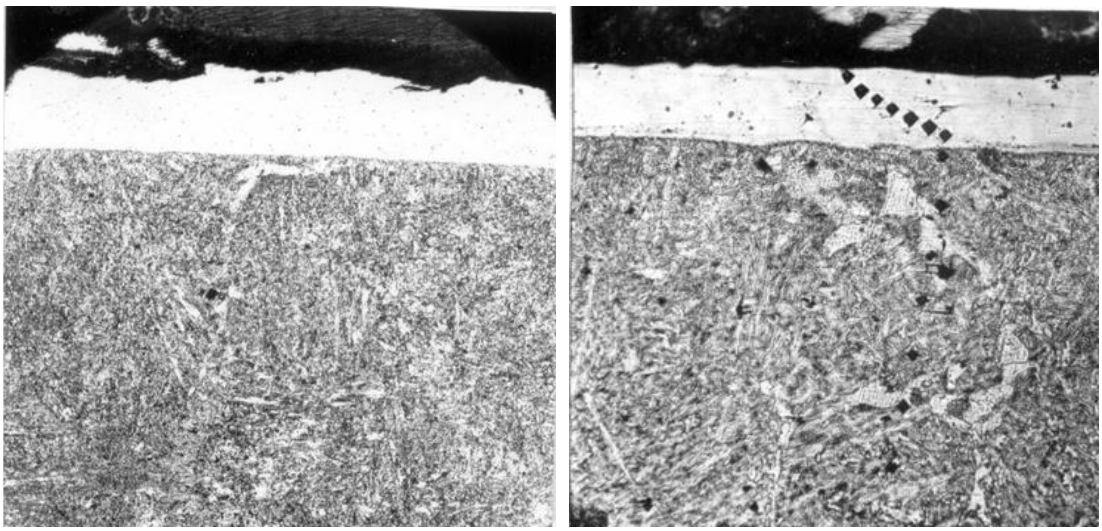
Фтористые соединения калия улучшают действие буры и снижают температуры активности флюсов ПВ-200 и ПВ-201. Содержание фторидов заметно повышают активность, если в их состав вводятся металлы (лигатуры), вступающие в реакцию замещения с окислами металлов и образующие соединения, растворимые во флюсе или взаимодействующие с ним [10, 11].

Борная кислота образует при нагревании расплав, который реагирует с основными окислами металлов с образованием метаборатов, растворяет окислы и загрязнения металла. Образующиеся метабораты отводятся в виде шлаков [12].

В состав флюса ПВ-209 входят две соли: калий фтористый и калий тетрафторборат. Добавки этих солей во флюсы повышают их специфические свойства: текучесть, смачиваемость, химическую активность. Фтористые соли щелочных металлов действуют как поверхностно-активные вещества, снижающие поверхностное натяжение между флюсом и металлом, а также между флюсом и оксидами, способны растворять оксиды и проникать в оксидные пленки. Это приводит отделению оксидных включений от расплава [13-15].

Для понижения температуры процесса нанесения защитного покрытия целесообразно применить флюс ПВ-209, имеющий более низкий температурный интервал активности 700…900°С.

Как видно из результатов металлографических исследований на рис. 1 и табл. 2 применение флюса ПВ 209 обеспечило прирост толщины покрытия: 20…25 мкм.



а б

Рис. 1 - Результаты металлографических исследований:
а - без флюса; б - ПВ-209

Таблица 2

Прирост толщины покрытия

№	Флюс	Толщина прироста, мкм
1	Без флюса	60-70
2	ПВ-209	85-90

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сивенков А.В.* Химико-термическая обработка сталей в среде легкоплавких растворов / Записки Горного института, 2014, Т. 209, С. 244-248.
2. *Пряхин Е.И.* Имитационное моделирование структуры зоны термического влияния сварных соединений из низколегированных сталей / Е.И. Пряхин, Д.М. Шарапова // Записки Горного института, 2014, Т. 209, С.239-243.
3. *Сивенков А.В.* Исследование свойств никелевых покрытий, нанесенных из легкоплавких расплавов / Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, 2009, Т. 3(84), С. 119-123.
4. *Красный В.А.* Влияние тонкослойных нанопокрытий на фреттинг-коррозию высоконагруженных сопряжений крупногабаритных деталей машин / В.А. Красный, В.В. Максаров, Р.В. Вьюшин // Металлообработка, 2013, Т. 5-6(77-78),. С. 63-67.

5. *Цуканов В.В.* Совершенствование технологии производства среднелегированной конструкционной стали путем обработки комплексными модификаторами / В.В. Цуканов, В.Г.Милюц, Е.Ю.Левагин // В сборнике материалов III Международной научной конференции «Научно-технический прогресс в черной металлургии – 2017, 2017, С. 270-277.
6. *Шахназаров К.Ю.* Аномалия пластичности железа как следствие превращения при ~ 650°С / К.Ю. Шахназаров, Е.И. Пряхин // Записки Горного института, 2016, Т. 217, С.150-155.
7. *Пряхин Е.И.* Технологическая свариваемость низколегированных сталей при сварке под флюсом на высоких погонных энергиях / Е.И. Пряхин, Д.М. Шарапова, М.Г. Шарапов // Сварочное производство, 2016, Т. 4, С. 3-15.
8. *Шахназаров К.Ю.* К вопросу об аддитивности механических свойств металлических сплавов-смесей (на примере систем al - si и fe - c) / Материалы научного форума с международным участием «Неделя науки СПбПУ», Институт металлургии, машиностроения и транспорта, 2015, С. 202-205.
9. *Сердюк Н.А.* Использование флюсов в технологии нанесения защитных покрытий из легкоплавких расплавов / Н.А. Сердюк, А.В. Сивенков, Е.И. Пряхин, А.В. Михайлов // II Всероссийская национальная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований» Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2019.
10. *Красный В.А.* Триботехнические характеристики деталей горных машин с регулярной микрогеометрией поверхности / В.А. Красный, В.В. Максаров // Металлообработка, 2016, Т. 1(91), С. 29-35.
11. *Сивенков А.В.* Восстановление деталей машин химико-термической обработкой / А.В. Сивенков, Д.А. Кончус // Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, С. 126-129.
12. *Milyuts V.G.* Optimization of the heat treatment of ingots of high-strength vessel steel modified by rare-earth metals / V.G. Milyuts, V.V. Tsukanov, E.Y. Levagin, S.V. Efimov, A.G. Pavlova, V.A. Golubtsov // Russian metallurgy (Metally), 2015, Vol. 12, C. 970-974.
13. *Maksarov V.* Machining quality when lathing blanks with ceramic cutting tools / V. Maksarov, A. Khalimonenko, D. Timofeev // Agronomy Research, 2014, Vol. 13(1), C. 269-278.
14. *Maksarov V.V.* Theory and practice of management and modeling in the field of forecasting the dynamic properties of the technological systems / V.V. Maksarov, J. Olt // Metal., 2012, Vol. 2, C.7-13.
15. *Kozjaruk A.E.* Currents in bearings of induction motors of electric drives with semiconductor converter / A.E. Kozjaruk, B.U. Vasilev, S.A. Shtop, N.A. Serdiuk // Proceedings – 2018. 17th International Ural Conference on AC Electric Drives. ACED 2018, 2018, C. 1-5.

УДК: 621.311.1.018.3

ПРОБЛЕМЫ ВЫСШИХ ГАРМОНИК И ИХ ОГРАНИЧЕНИЕ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ РАЗЛИЧНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Сериков Владимир Александрович,
Шерстенникова Ирина Александровна,
группа ЭСМ-17,
Санкт-Петербургский горный университет

Аннотация. Выполнено моделирование систем электроснабжения различного напряжения, включающих трансформатор, работающий на линейную и нелинейную нагрузку и батарею конденсаторов. Получены зависимости токовой перегрузки конденсаторов и коэффициента гармонических составляющих напряжения от мощности батареи в рабочем диапазоне суммарной загрузки трансформатора линейной и нелинейной нагрузками. Для рассматриваемых систем при суточном изменении линейной нагрузки и мощности конденсаторной батареи практически невозможно избежать перегрузки конденсаторов токами высших гармоник и выполнить нормативные требования к качеству напряжения. Установка антирезонансных дросселей в цепи конденсаторной батареи позволяет уменьшить перегрузку конденсаторов до допустимого значения, а качество напряжения вернуть до значений, которые имели место при отсутствии конденсаторной батареи.

Ключевые слова: моделирование; несинусоидальный режим; высшие гармоники; качество напряжения; конденсаторные батареи; антирезонансный дроссель

PROBLEMS OF HIGHER HARMONICS AND THEIR CURB IN POWER SUPPLY SYSTEMS OF VARIOUS VOLTAGES

Serikov Vladimir Alexandrovich,
Sherstennikova Irina Alexandrovna,
group ESM-17,
Saint-Petersburg Mining University

Abstract. The simulation of various voltage power supply systems, including a transformer operating on a linear and non-linear load and a capacitor bank, was performed. The dependences of the capacitors current overload and the harmonic component of the voltage on the bank power in the operating range of the total transformer load with linear and non-linear loads are obtained. For the considered systems, with a daily variation of the linear load and the capacitor bank power, it is almost impossible to avoid overloading the capacitors with high-harmonic currents

and observe the regulatory requirements for the voltage quality. Installing antiresonant reactors in the capacitor bank circuit reduces the capacitor overload to an acceptable value, and returns the voltage quality to values that occurred in the absence of a capacitor bank.

Keywords: simulation; non-sinusoidal mode; higher harmonics; voltage quality; capacitor banks; antiresonant reactor

Введение. Известно, что высшие гармоники, генерируемые вентильными преобразователями, широко применяемыми в промышленных и городских системах электроснабжения (СЭС), негативно влияют на работу всего оборудования, а особенно на работу конденсаторных батарей (КБ) [1-3].

Исследованию высших гармоник в СЭС посвящено большое количество работ, в которых, как правило, анализируется процессы распределения гармонических токов в упрощенной однофазной модели [4]. Отсутствуют работы, в которых рассматривались бы несинусоидальные режимы работы в трехфазной модели СЭС с непосредственным источником этих гармоник – полупроводниковым преобразователем.

Цель работы. Исследование высших гармоник в трехфазных СЭС различного напряжения с нелинейной нагрузкой и разработка рекомендаций по эффективному снижению негативного влияния гармоник на оборудование этих систем и качество напряжения.

Модели СЭС. Рассмотрены СЭС, включающие источник питания – трансформатор, работающий на линейную и нелинейную нагрузки и конденсаторную батарею (КБ) для компенсации реактивной мощности линейной нагрузки. В качестве нелинейной нагрузки рассматривался трехфазный мостовой выпрямитель.

Исследования выполнялись на компьютерных и физической моделях СЭС. В первом случае в качестве источников питания рассматривались трансформаторы напряжением 10/0,4 кВ мощностью 250…2500 кВА и напряжением 110/10 кВ мощностью 6300…63000 кВА. Физическое моделирование выполнялось на лабораторной модели с сухим трансформатором напряжением 0,4/0,23 кВ мощностью 19 кВА, работающим на трехфазный мостовой выпрямитель VS-26MT60 с диодами на средний ток 25 А. Нагрузкой выпрямителя и линейной нагрузкой трансформатора служили проволочные реостаты и дроссели, а собранная КБ ступенчато регулировалась в диапазоне 10…320 мкФ.

Для обобщенности результатов моделирования все регулируемые мощности (линейной и нелинейной нагрузки и КБ) представлялись в относительных единицах по отношению к номинальной мощности трансформатора.

Результаты моделирования. Для рассматриваемых СЭС получены зависимости токовой перегрузки КБ ($К_{пер}$) и коэффициента гармонических

составляющих напряжения ($К_U$) от мощности КБ в рабочем диапазоне суммарной загрузки трансформатора линейной и нелинейной нагрузками.

Для трансформаторов 250 … 2500 кВА допустимые режимы имели место лишь между резонансами на 7-й (мощность КБ $Q_к^* \approx 0,37$) и 11-й ($Q_к^* \approx 0,15$) гармониках. Для трансформаторов 6300 … 63000 кВА допустимые режимы имели место также между резонансами на 7-й ($Q_к^* \approx 0,18$) и 11-й ($Q_к^* \approx 0,07$) гармониках, однако лишь для значений $P_d \leq 0,2$ по токовой загрузке КБ и для $P_d \leq 0,1$ по качеству напряжения.

Результаты физического моделирования: при $Q_к^* < 0,17$ токовая перегрузка КБ высшими гармониками оказалась недопустимой, кроме того, во всем диапазоне изменения мощности КБ качество напряжения было неудовлетворительным.

Подавление высших гармоник. С позиции минимальных дополнительных затрат на подавление высших гармоник принята установка антирезонансных дросселей в цепи КБ. Индуктивное сопротивление дросселя при 50 Гц принималось равным 7% от емкостного сопротивления КБ [5].

Моделирование несинусоидальных режимов СЭС напряжением 10/0,4 кВ с использованием антирезонансных дросселей показало, что во всем рассмотренном диапазоне изменения нагрузки трансформатора и мощности КБ ее загрузка токами высших гармоник была в допустимых пределах ($К_{пер} < 1,1$). Требования к качеству напряжения также были выполнены ($К_U < 8$ %).

Для СЭС напряжением 110/10 кВ загрузка КБ токами высших гармоник также оказалась в допустимых пределах ($К_{пер} < 1,15$). Однако в рассмотренном диапазоне изменения нагрузки трансформатора и мощности КБ коэффициент $К_U$ достигал 15%. Нормативные требования к качеству напряжения ($К_U \leq 5$ %) выполнялись лишь для мощности нелинейной нагрузки не превышающей 0,2. Здесь следует, по-видимому, дополнительно применять схемные решения по рациональному построению СЭС с нелинейной нагрузкой.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шклярский Я.Э.* Способы уменьшения влияния высших гармоник на работу электрооборудования / Я. Э. Шклярский, А. Н. Скамьин // Записки Горного института, 2011, Т. 189, С.121-124.

2. *Темербаев С.А.* Анализ качества электроэнергии в городских распределительных сетях 0,4 кВ / С.А. Темербаев, Н.П. Боярская, В.П. Довгун, В.О. Колмакова // Журнал сибирского федерального университета. Техника и технология, 2013, Т. 6, С. 107-120.

3. *Абрамович Б.Н.* Методы компенсации провалов и искажений напряжения в электрических сетях нефтедобывающих предприятий / Б.Н. Абрамович, Д.А. Устинов, Ю.А. Сычев, А.Я. Шклярский // Нефтяное хозяйство, 2014, Т. 8, С. 110-112.

4. *Шклярский Я.Э.* Уменьшение влияния высших гармоник на работу электротехнического комплекса горного предприятия / Я.Э. Шклярский, Д.А. Ситников, А.Н. Скамьин // Записки Горного института, 2008, Т. 178, С. 162-165.
5. *Шишкин С.* Защитные антирезонансные дроссели низковольтных конденсаторных батарей // Силовая электроника, 2007, Т. 4.

УДК 621.331

АНАЛИЗ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕМ ПО ШОССЕЙНЫМ ДОРОГАМ И В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОГО ТРАФИКА

Силкин Алексей Андреевич,
Ячнев Владислав Владимирович,
Варфоломеев Алексей Сергеевич,
группа ЭРС-16,
Санкт-Петербургский горный университет, Электромеханический факультет

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы продаж электромобилей в России, сравнение экологичности и стоимости пользованием автотранспорта на ДВС и электромобилей, концепция электрифицированных дорог и расчет потребляемой энергии на участке дороги.

Ключевые слова: Россия; автомобиль; электромобиль; рынок электромобилей; продажи; экологичность; стоимость обслуживания; концепция дороги; расчет энергии

ANALYSIS OF ENERGY CONSUMPTION OF ELECTRIC VEHICLES ON HIGHWAYS AND IN CITY TRAFFIC

Silkin Alexey Andreevich,
Yachnev Vladislav Vladimirovich,
Varfolomeev Alexey Sergeevich,
group ERS-16,
Saint-Petersburg Mining University,
Electromechanical Faculty

Abstract. The article deals with the issues of sales of electric vehicles in Russia, comparison of environmental friendliness and the cost of using vehicles on ice and electric vehicles, the concept of electrified roads and the calculation of energy consumption on the road section.

Keywords: Russia; vehicle; electric vehicle; electric vehicles market; sales; sustainability; cost of service; the concept of roads; calculation of energy

С начала 21-ого века электромобили получили значительный толчок в развитии. Связано это со следующими их преимуществами, главным из которых является - полное отсутствие выхлопов, загрязняющих окружающую среду во время его использования [1, 2]. С точки зрения

экологической безопасности, это утверждение не является точным. Сам электромобиль, за место привычного топлива, в автомобилях на ДВС, питается электроэнергией. ТЭС, которые производят электричество в основном в нашей стране работают на природном газе, т.е. степень экологичности электромобиля напрямую будет зависть от того каким способом получили электроэнергию (рис. 1 и 2) [3, 4].

Согласно исследованию американских специалистов, использование электромобилей оправдано с экологической точки зрения в любом штате США независимо от преобладания того или иного источника энергии. В среднем по стране на доли угля и природного газа приходится примерно по 33 % в структуре генерации электроэнергии [5, 6].

В этих условиях углеродный след электрокара (около 154 грамма на милю) почти в 2,5 раза меньше, чем у бензинового автомобиля (около 381 грамма на милю), а подключаемого гибрида – 32 % ниже. И даже там, где уголь перевешивает, электрокары все равно предпочтительнее для экологии [2, 7].

В электроэнергетике России доминирует природный газ, а также высока доля атомной и гидроэнергетики [8-10].

Рис. 1 - Структура электрогенерации в крупнейших странах мира в 2017 году

При текущих темпах развития сети ЭЗС, а также при сохранении существующей государственной поддержки по стимулированию рынка, спрос на электромобили в консервативном сценарии можно оценить в 200-300 тыс. штук к 2030 году [11].

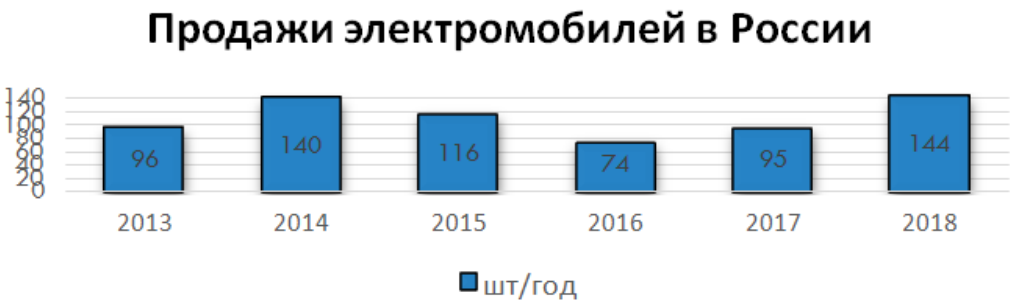
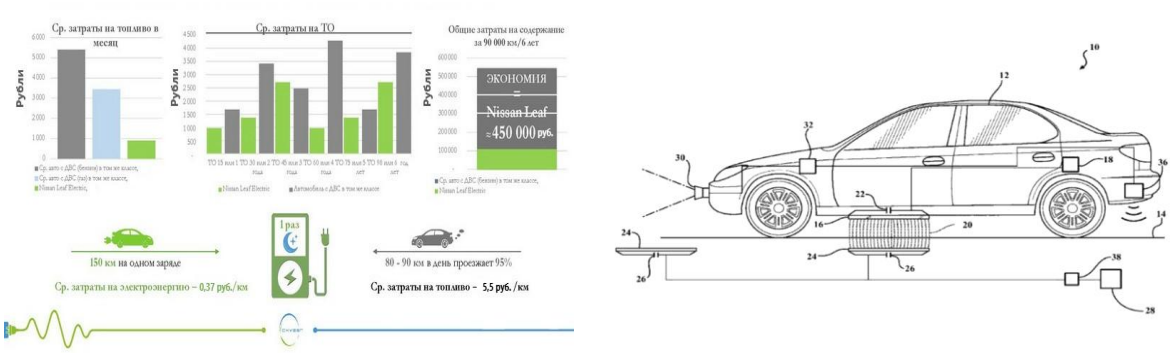


Рис. 2 - Динамика роста парка электромобилей в России

За 6 лет в России продано всего лишь 665 электромобилей (рис. 3). Для примера, в Китае за первые шесть месяцев 2018 было продано 373 000 «полных электромобилей» и подключаемых гибридов. Примечательно, что 96 % произведены непосредственно в стране, так как импортные облагаются 40 % пошлиной [11].

Конструкция электромобиля устроена довольно просто, следовательно, профилактическое обслуживание и ремонт получается дешевле. Электроэнергия, расходуемая аккумулятором электромобиля, намного доступнее топлива, однако, аккумулятор имеет возможность заряжаться даже во время пути следования: при спуске и подъема со склона, от солнечной энергии днём, ночью от сети (рис. 3).



а б

Рис. 3 - Сравнение стоимости пользованием автомобилем с ДВС и электромобилем (а) и концепция электрифицированных дорог (б)

Однако, серьёзным недостатком является их зависимость от недостаточно развитой инфраструктуры. Решением данной проблеме может послужить создание специальных участков дорог, на которых электрокары смогут пополнить заряд аккумулятора, не прекращая движение.

Стоит отметить, что над данной идеей уже давно работают по всему миру: в таких странах как Швеция и Япония уже существуют экспериментальные участки подобных дорог. Например, в Швеции для подзарядки электромобилей используют контактный рельс [12].

В свою очередь мы предлагаем сделать на отдельных участках дорог специальное полотно, где электромобиль мог бы беспрепятственно ехать и подзаряжаться (рис. 3, б). Так как питание происходит за счет постоянного тока, следует применить системы электроснабжения также на постоянном токе, для избежания имплементации лишних преобразователей напряжения [13-16].

Важнейшим вопросом в данном проекте можно считать расчёт мощности, потребляемой электрокаром при различных режимах движения.

На данном графике представлена зависимость мощности электродвигателя от скорости. Хорошо видно рекуперативный запас энергии при малейшем торможении или же сбросе скорости. Этот график показывает, сколько в среднем выдает двигатель при определенных скоростях.

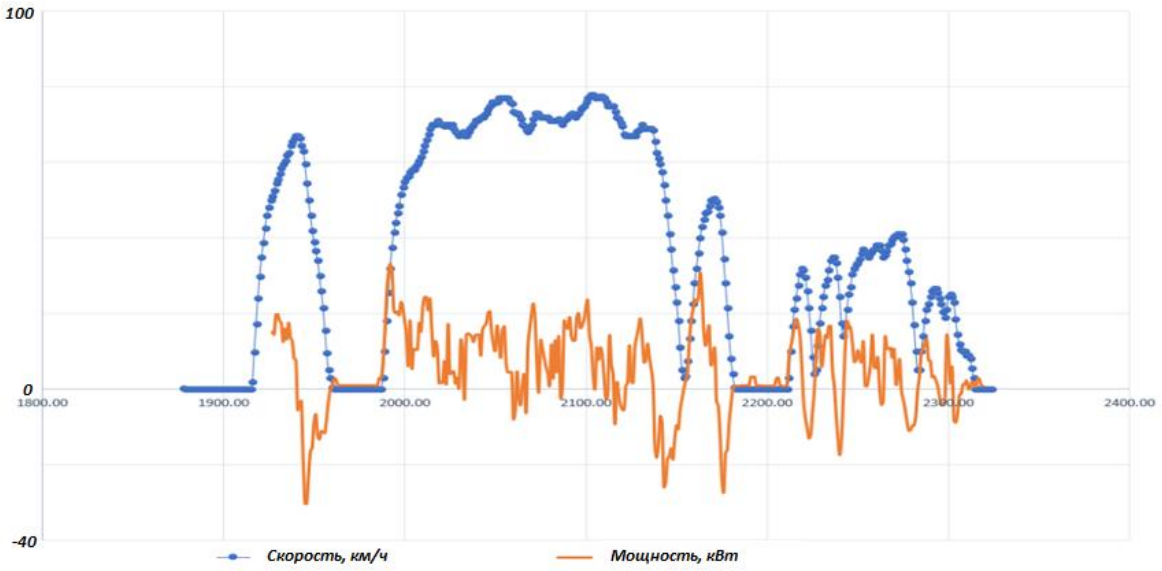


Рис. 4 - Зависимость мощности электродвигателя от его скорости

Также был произведён расчёт потребляемой мощности на 1 км дороги при скорости движения примерно 88 км/ч, согласно приведенному выше графику (рис. 4):

$$E_{о.м.} = E_{дв}(v) + E_{о.с.} + \sum E_{акс.},$$

$$E_{общ} = E_{о.м.} \cdot n(V_{ср}),$$

$$E_{дв} = 25 \cdot t = 291,\ 67\ Вт \cdot ч,$$

$$E_{конд.} = 600 \cdot t = 7\ Вт \cdot ч,$$

$$E_{фары} = 400 \cdot t = 4{,}67\ Вт \cdot ч,$$

$$E_{о.с.} = 6{,}5 \cdot t = 75{,}83\ Вт \cdot ч,$$

где $E_{о.м.}$ – усредненная общая энергия, потребляемая одним электромобилем (в качестве примера взята Tesla Model S), $E_{общ}$ – энергия потребляемая трафиком машин на 1 км дороги, двигающимся в одинаковой скоростью, $E_{дв}$, $E_{фары}$ $E_{о.с.}$, $E_{конд.}$ – энергия, потребляемая двигателем электромобиля, а также вспомогательными системами, обогревателем, фарами, кондиционером и т.д., за время проезда t одного километра дороги; энергия, потребляемая фарами (в среднем) электромобиля за время проезда t одного километра дороги,

Остальные системы машины в расчете были приняты незначительными и рассмотрены не были.

В качестве расчета потребления энергии нами был взят участок дороги в 1 км ЗСД. Расчетная скорость 88 км/ч, при которой двигатель выдает в среднем 25 кВт мощности, также взяты самые популярные аксессуары

машины, то есть фары, кондиционер и печка. В итоге получилось 310 Вт*ч летом и 375 Вт*ч зимой потребляет одна машина на данном участке. Наша концепция предусматривает по одной полосе в двух направлениях движения, значит эти значения смело умножаем на 2. В работе рассматривается «идеальный» случай, когда машины находятся на одинаковом расстоянии друг от друга и едут с одинаковой скорости. Так как в жизни такого добиться практически нереально, то значения потребления энергии «плавают» относительно полученных значений. В дальнейшей работе недоставки расчетов будут устраняться, а именно учтены остальные системы электромобиля, неоднородность трафика, а также процесс заряда и разряда батареи в различных режимах работы двигателя электромобиля.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Abdurahmanova E.G.* Effect of exhaust gases on the human body / Probl. Secur. aftermath emergencies, 2015, Vol. 2, 1, C. 53–57.
2. *Koptev V.Y.* Improving Pit Vehicle Ecology Safety / V.Y. Koptev, A.V. Kopteva // J. Phys. Conf. Ser, 2018, Vol. 1015, 052014.
3. *Shen C.* A Comprehensive Overview of Hybrid Electric Vehicles / C. Shen, P. Shan, T. Gao // Int. J. Veh. Technol, 2011, Vol. 2011, C. 1–7.
4. *Kiaee M.* Demand side management of electric vehicle car parks to increase integrated solar power capacity within an existing radial distribution network / M. Kiaee, A.J. Cruden, S.M. Sharkh // 6th Hybrid and Electric Vehicles Conference (HEVC 2016). Institution of Engineering and Technology, 2016, C. 8(6 .)-8 (6 .)
5. *Becker T.* Electric Vehicles in the United States. A new Model with forecasts to 2030 / T. Becker, I. Sidhu, 2009. - 32 c.
6. *Slowik P.* The continued transition to electric vehicles in U.S. cities / P. Slowik, N. Lutsey, 2018. - 35 c.
7. *Hara T.* Comprehensive Comparison between Hybrid and Electric Vehicles Using a Multi-Dimensional Techno-Economic Assessment Diagram: Concept and Application / World Electr. Veh. J., 2018, Vol. 9(3), C. 41.
8. *Kopteva A.V.* Noncontact measurement method for assessing oil quality and quantity in main pipeline / A.V. Kopteva, I.N. Voytyuk // 2015 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS). IEEE, 2015, C. 1–4.
9. *Kopteva A.V.* The algorithm of measuring parameters of separate oil streams components / A.V. Kopteva, I.N. Voytyuk // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng, 2017, Vol. 177, 012006.
10. *Kopteva A.V.* Automated monitoring system for asphaltene-resin-paraffin deposits in main oil pipelines / A.V. Kopteva, V.Y. Koptev // Int. J. Appl. Eng. Res, 2016, Vol. 11(4), C. 2191–2198.
11. *Хегай Ю.А.* Перспективы развития электромобилей и автомобилей-гибридов / Ю.А. Хегай, Н.О. Тарасова, Е.С. Лукьяненко // Теория и практика общественного развития, 2014, Т. 20, С. 76–78.

12. *Randall C.* eRoadArlanda – Swedish road charges EVs while driving / Electrive.com., 2018.
13. *Solovev S.V.* Static load characteristics consideration for determination of transmission line power capacity / S.V. Solovev, S.B. Kryltcov, I.N. Voytyuk // Proceedings of the 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2018. 2018, Vol. 2018.
14. *Solovev S.V.* Efficiency estimation method of three-wired AC to DC line transfer / S.V. Solovev, A.I. Bardanov // Journal of Physics: Conference Series. 2018, Vol. 1015(3).
15. *Artyukhov I.I.* Autonomous power supply system based on a diesel generator and renewable energy sources for remote rural areas / I.I. Artyukhov and oth. // 2018 19th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE). IEEE, 2018, С. 1–4.
16. *Leandros A.* Dynamic wireless charging of electric vehicles on the move with Mobile Energy Disseminators / A. Leandros and oth. // Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl., 2015, Vol. 6.

УДК 621.316

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СЕТИ С УЧЕТОМ ФАЗОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЫСШИХ ГАРМОНИК

Скамьин Александр Николаевич,
канд. техн. наук, доцент,
Растворова Юлия Владимировна,
аспирант,
Добуш Василий Степанович,
канд. техн. наук, доцент,
Санкт-Петербургский горный
университет

Аннотация. Рассматривается влияние источников высших гармоник на функционирование силовых устройств. Построены зависимости тока конденсаторной батареи от соотношения нелинейной и линейной нагрузок, а также от сопротивления системы. Показано, что фазовые параметры высших гармоник оказывают значительное влияние на перегрузку конденсаторов токами высших гармоник.

Ключевые слова: высшие гармоники; качество электроэнергии; электрооборудование; конденсаторная батарея

SIMULATION OF ELECTRICAL EQUIPMENT MODES CONSIDERING THE PHASE SHIFT OF HIGH HARMONICS

Skamyin Alexandr Nikolaevich,
PhD, associate Professor,
Rastvorova Yulia Vladimirovna,
postgraduate student,
Dobush Vasilyi Stepanovich,
PhD, associate Professor,
Saint Petersburg Mining University

Abstract. The influence of high harmonics on the power devices operation is considered. The dependences of the condenser battery current on the ratio of nonlinear and linear loads, as well as on the system resistance, are constructed. It is shown that the phase parameters of high harmonics have a significant effect on the overload of capacitors.

Keywords: high harmonics; power quality; electrical equipment; capacitor

Автоматизация производства, внедрение полупроводниковых устройств, распределенной генерации и многие другие процессы приводят не

только к повышению эффективности работы электрической сети и устройств, но и к ухудшению показателей качества электрической энергии [1, 2, 3, 4]. В данной работе рассматривается взаимное влияние нескольких источников высших гармоник на функционирование силовых устройств.

Компьютерная математическая модель электрической сети с нелинейной нагрузкой в виде трехфазного тиристорного моста [5, 6] была построена в пакете *Simulink* и представлена на рис. 1.

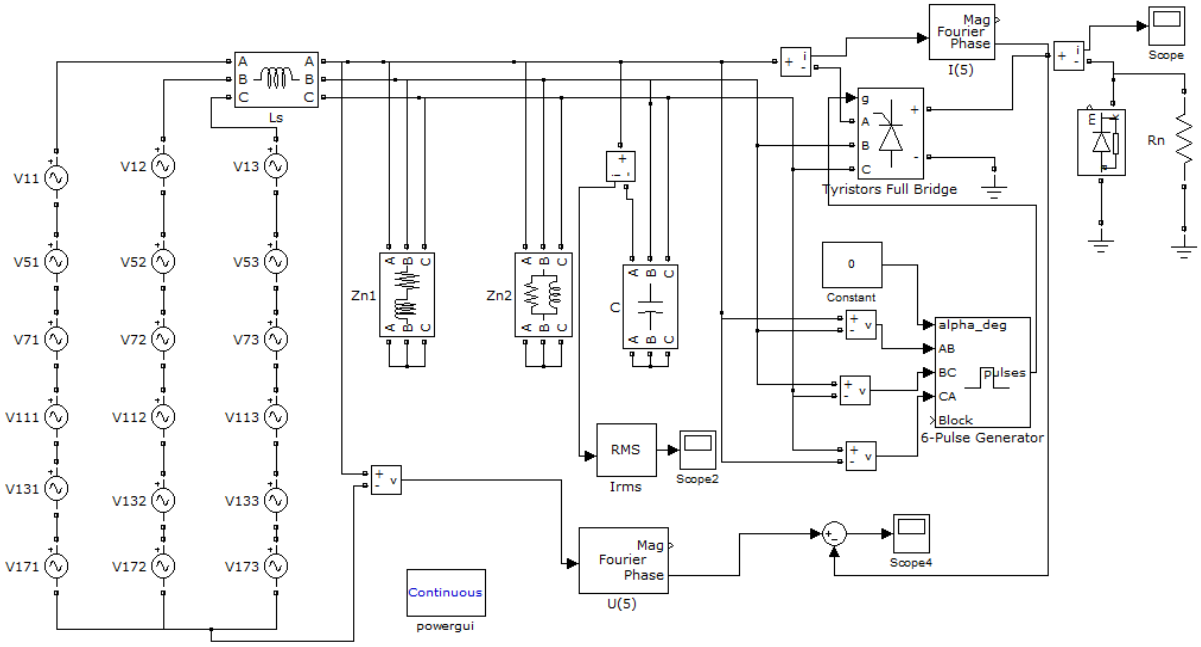


Рис. 1 - Имитационная модель электрической сети

Совокупность источников напряжения представляют трехфазную питающую сеть с нелинейными искажениями, где *Ls* - индуктивное сопротивление системы; *Zn1*, *Zn2* - сопротивление нагрузки; *C* - емкость конденсаторной батареи (КБ) установки поперечной компенсации; *Tyristors Full Bridge* - модель тиристорного шестипульсного преобразователя; блок *6-pulse Generator* - система управления ключами тиристорного преобразователя; блок *Constant* - задание угла включения тиристоров.

В качестве целевого параметра принята величина тока конденсаторной батареи, так как этот элемент наиболее чувствителен к токам высших гармоник [7, 8]. Для того, чтобы проанализировать поведение тока КБ во всем диапазоне возможных параметров системы при выборе параметров компенсирующих устройств было произведено моделирование при изменении сопротивления системы и доли нелинейной нагрузки относительно линейной. В рассматриваемой схеме при варьировании режимов работы электрооборудования может изменяться мощность линейной нагрузки или нелинейной, а соответственно, и их соотношение, поэтому логично рассмотреть какова зависимость тока конденсаторной батареи от соотношения линейной и нелинейной нагрузки при неблагоприятных и благоприятных углах сдвига фаз между током и

напряжением на высших гармониках. Такая зависимость представлена на рис. 2.

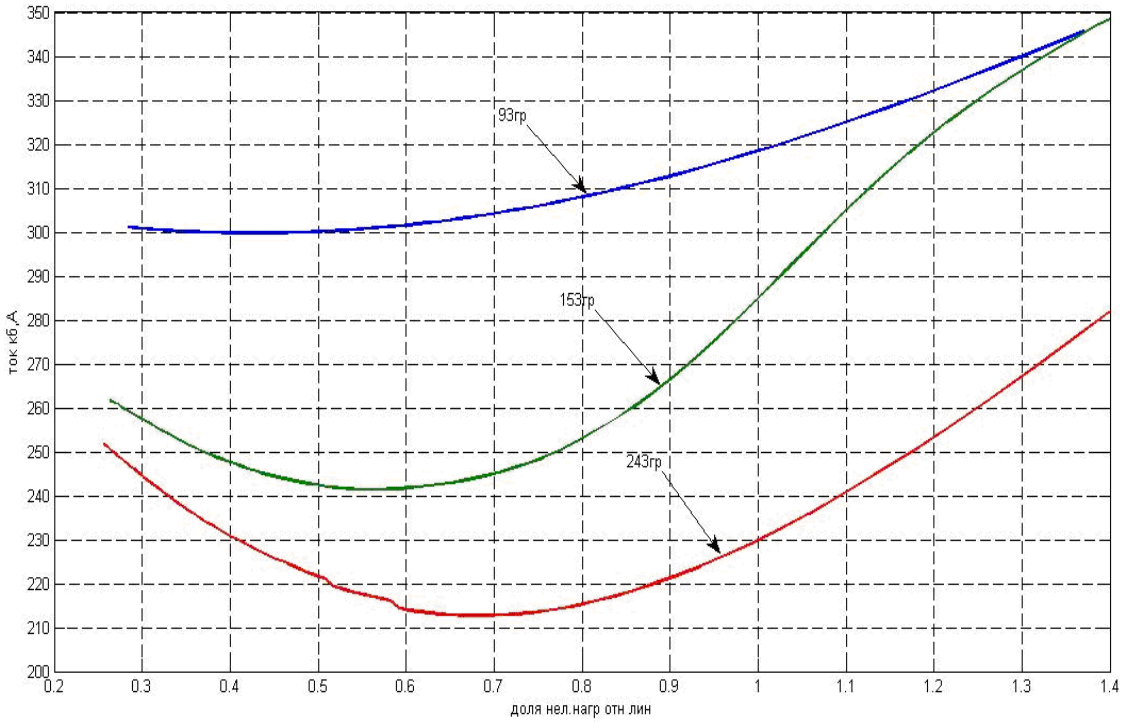


Рис. 2 - Зависимость тока КБ от соотношения нелинейной нагрузки к линейной

Моделирование проводилось при параметрах сети, соответствующих промышленному предприятию [9] и изменении доли нелинейной нагрузки относительно линейной от 0,25 д. е. (доли единицы) до 1,4 д. е., при этом мощность нелинейной нагрузки оставалась постоянной, а изменялось активное сопротивление линейной нагрузки. Для того чтобы рассчитать долю нелинейной нагрузки по отношению к линейной, необходимо определить мощность линейной и нелинейной нагрузок, либо отношение величин тока обоих видов нагрузок.

Характеристики на рисунке 2 построены для трех значений начальных фаз источника напряжения пятой гармоники: $\varphi_U^{(5)}=93^0$- фаза напряжения на пятой гармонике, при которой возникают наиболее неблагоприятные условия; $\varphi_U^{(5)} = 153^0$ - промежуточное значение фазы источника напряжения пятой гармоники; $\varphi_U^{(5)} = 243^0$ фаза напряжения пятой гармоники, при которой ток КБ имеет наиболее низкие значения. Построенные зависимости имеют параболический характер с явно выраженным единственным минимумом, который при увеличении фазы источника напряжения смещается в сторону увеличения доли нелинейной нагрузки. При $\varphi_U^{(5)} = 93^0$ минимум значения тока КБ находится при соотношении линейной и нелинейной нагрузок равном 0,43 д.е., при $\varphi_U^{(5)} = 153^0$ - минимум наблюдается при соотношение равном 0,55 д.е., и при $\varphi_U^{(5)} = 243^0$ - минимум наблюдается при соотношение

равном 0,7 д.е. Далее были получены зависимости тока КБ от сопротивления системы при благоприятной и неблагоприятной начальных фаз (рис. 3).

Выявленная наиболее неблагоприятная фаза источника напряжения определяющей гармоники не изменяется при варьировании доли нелинейной нагрузки относительно линейной, т. е. является таковой во всем диапазоне изменения доли нелинейной нагрузки. Данные зависимости были получены для начальных фаз источника напряжения пятой гармоники 93^0 и 243^0. Максимального значения ток КБ (357 А) достигает при угле сдвига фаз 93^0, как и при изменении доли нелинейной нагрузки относительно линейной.

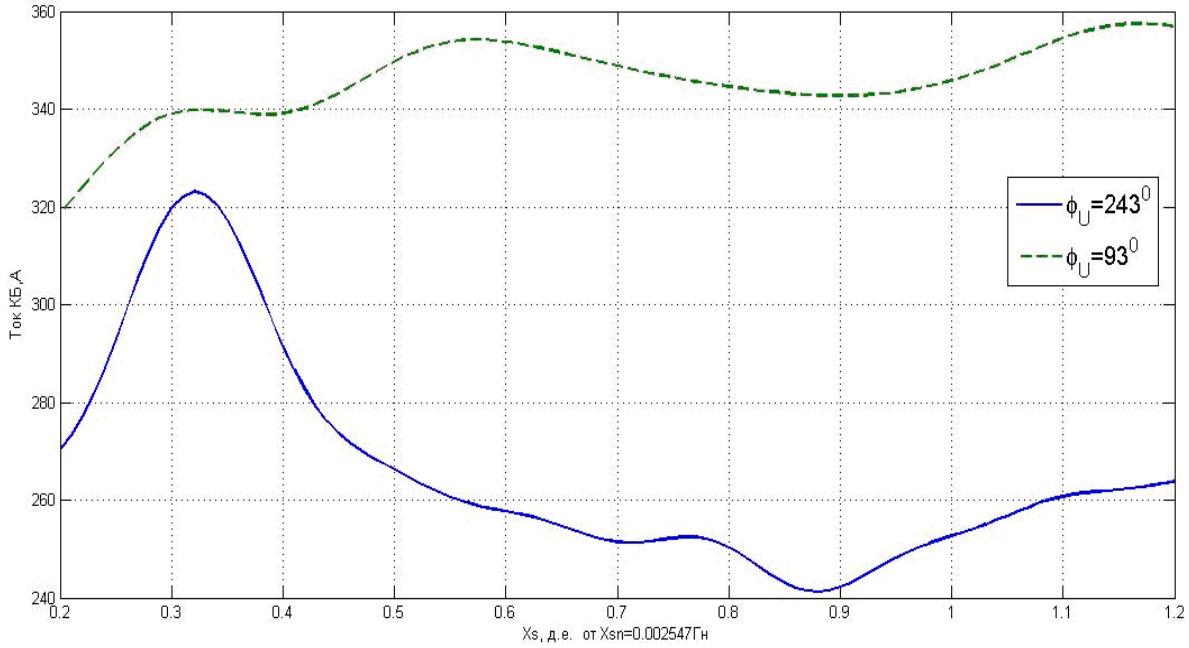


Рис. 3 - Зависимость тока КБ от сопротивления системы *Xs*

Таким образом, полученные результаты показывают значительное влияние угла сдвига фаз на высших гармониках на расчет величин токов, протекающих по силовым устройствам. Следовательно, необходимо учитывать фазовые параметры высших гармоник при проектировании и моделировании работы электрической сети.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Жежеленко И.В.* Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях / И.В. Жежеленко, Ю.Л. Саенко // 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 252 с.
2. *Железко Ю.С.* Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии. – М.: Энас, 2009 – 456 с.
3. *Шклярский А.Я.* Анализ вектора мгновенной неактивной мощности трехфазной сети при различной симметричной нагрузке / А.Я. Шклярский, А.И. Барданов // Естественные и технические науки, 2017, Т. 2, С. 126-128.

4. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
5. *Kopteva A.V.* Increase in energy efficiency of oil and gas companies by perfecting of management systems / A.V. Kopteva, D.A. Poddubnyi, V.Y. Koptev // Proceedings of the 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, 2019, Vol. 1, C. 548-552.
6. *Abramovich B.N.* The evaluation of hybrid active filter efficiency / B.N. Abramovich, Y.A. Sychev // International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering (APEDE), 2016, C. 1–7.
7. *Belsky A.A.* Analysis of UPS impact on power quality at point of common coupling of consumers / A.A. Belsky, V.S. Dobush // International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS), 2015, C. 1-4.
8. *Zhukovskiy Y.* Diagnostics and evaluation of the residual life of an induction motor according to energy parameters / Y. Zhukovskiy, N. Koteleva // J. Phys. Conf. Ser, 2018, Vol. 1050, 012106.
9. *Shklyarskiy Ya.E.* Impact of the load curve on losses in the power supply network of the company / Ya.E. Shklyarskiy, S. Pirog // Journal of Mining Institute, 2016, Vol. 222, C. 858–863.

УДК 622.06

ПРИМЕНЕНИЕ ПЛУНЖЕРНЫХ ДОЗИРОВОЧНЫХ НАСОСОВ В БУРОВЫХ УСТАНОВКАХ

Соловьев Иван Васильевич,
группа ГМ-15,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. В работе рассматривается возможность применения плунжерных дозировочных насосов в буровых установках. Проводиться сравнительный анализ плунжерного насоса с аксиально-поршневыми, радиально-поршневыми, шестеренчатыми и поршневыми. Рассмотрены основные достоинства дозировочных агрегатов и рекомендации по их применению.

Ключевые слова: насос дозировочный плунжерный; гидравлическая система; гидромодифицированные буровые установки; модернизация буровых установок

THE USE OF PLUNGER PUMPS IN DRILLING RIGS

Soloviev Ivan Vasilievich,
group GM-15,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. The article considers the possibility of using plunger dosing pumps in drilling rigs. There is conducted a comparative analysis of the plunger pump with axial piston, radial piston, gear and piston pumps. It was considered main advantages of plunger units and recommendations for use it.

Keywords: plunger dosing pump; hydraulic system; hydraulic drilling rigs; modernization of drilling rigs

Гидравлическая система буровой установки или станка представляет собой комплекс устройств, предназначенных для управления и приведения в действие исполнительных органов бурового оборудования рабочей жидкостью, нагнетаемой под давлением. Применение гидравлической системы позволяет упростить кинематику, повысить надежность работы оборудования, автоматизировать основные технологические операции при бурении [1].

В гидроприводах буровых установок применяют объемные роторные (ротационные) маслонасосы: шестеренчатые и пластинчатые радиально-поршневые и аксиально-поршневые [2].

Шестеренные насосы характеризуются простотой конструкции (у них отсутствуют всасывающий и нагнетательный клапаны, что упрощает их конструкцию), компактностью и надежностью в эксплуатации, низкой стоимостью. Недостатки следующие: нерегулируемость рабочего объема, неспособность работать на высоких давлениях, большая неравномерность подачи, высокие требования к качеству изготовления шестерен [3].

Насосы с переменной подачей, такие как аксиально-поршневые, аксиально-плунжерные и роторно-поршневые имеют следующие основные достоинства: способность работать на высоких давлениях, реализация регулирования рабочего объема. К недостаткам относятся сложная конструкция и связанная с этим низкая надежность, высокая стоимость, большие пульсации подачи и давления в гидросистеме [4].

Достоинства плунжерных насосов.

В работе дан анализ дозировочного плунжерного насоса с приводом на основе кривошипно-шатунного механизма с регулируемым рабочим объемом. Регулировка осуществляется путем изменения положения хода эксцентрика. Приводы с переменным эксцентриком вышли на первое место по сравнению с другими приводами с регулируемым ходом, благодаря их компактной конструкции, низкому люфту и оптимизированной механике в отношении несущей способности.

Как известно из мировой практики поршневые насосы [6] по принципу работы родственны плунжерным дозировочным: поршневые и плунжерные имеют клапанные группы. Вследствие этого появляются следующие основные недостатки: возникновение пульсации и увеличение объемных потерь из-за запаздывания клапанов во время работы.

По мере развития и совершенствования конструкции насосного оборудования существуют некоторые способы устранения вышеописанных недостатков – увеличение числа насосных головок для более равномерной подачи. На рис. 1 изображен график дозировочного агрегата с работой на общую нагнетательную линию одного, двух (сдвиг фаз на 180°) и трех насосных головок (сдвиг фаз на 120°) [5].

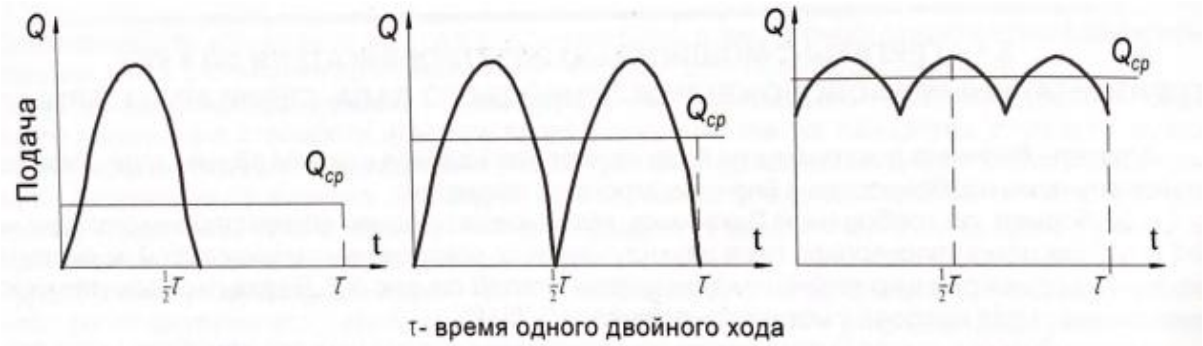


Рис. 1 - Равномерность подачи от количества насосных головок [5]

Дозирующие насосы имеют чрезвычайно жесткую характеристику давления. В ротационных поршневых насосах скорость потока больше зависит от давления, так как потери от утечки через уплотнительные зазоры напрямую зависят от перепада давления [6].

На рис. 2 представлен характер изменения расхода в трех типов насосов в зависимости от давления нагнетания. Следует сделать вывод о возможности поддержания высокого давления на высоких скоростях потока в гидросистеме.

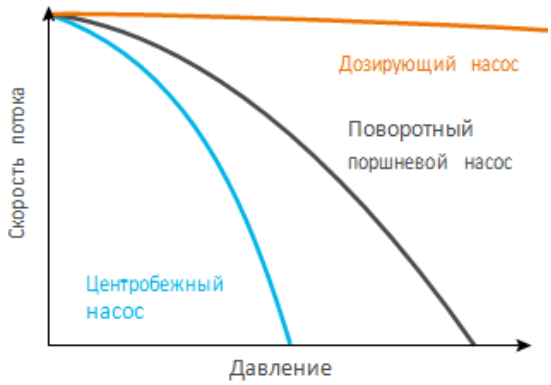


Рис. 2 - Кривые расхода разных типов насосов [7]

В своей основе плунжер и поршень имеют один и тот же принцип вытеснения объема жидкости, однако уплотнение поршня подвижно, в отличие от уплотнения плунжера [8]. В результате, к неподвижному уплотнению плунжера можно подвести смазочное масло и, тем самым увеличить долговечность пары плунжер-уплотнение плунжера, в среднем, в 4 раза.

Таким образом, плунжер насоса работает в условиях жидкостного трения, которое дает возможность увеличить скорость движения плунжера без опасности разрушения уплотнения. Особенности конструкции уплотнений плунжерного насоса облегчают использование современных материалов с улучшенными антикоррозийными свойствами, высокой стойкостью к агрессивным средам и значительным рабочим ресурсом.

Дозировочный плунжерный насос с регулированием подачи сочетает в себе основные достоинства всех типов насосов, которые могут использоваться в горной промышленности, в частности в буровых установках, а именно высокая надежность и ремонтопригодность, возможность регулирования геометрического объема замещения, высокая производительность, возможность работы при высоких давлениях, жесткая гидравлическая характеристика, низкая стоимость агрегата.

Экономическая эффективность применения.

Исследование пульсаций при работе насоса дает информацию о правильном проектировании системы с учетом потерь давления в трубопроводе и фитингах и пульсаций давления. Проектирование без учета этих факторов приводит к: кавитации, перегрузкам, чрезмерно высоким пульсациям давления или вибрациям. Учет характера пульсаций на этапе проектирования помогает предотвратить отказы и простои [9].

Когда речь идет о небольших и средних дозирующих насосах, затраты на энергию и различия между моделями или производителями незначительны. Вот почему в центре внимания закупок должны быть затраты на техническое обслуживание и возможные производственные потери. Плунжерные насосы рассчитаны на длительные периоды эксплуатации и срок службы. Даже изнашиваемые детали, такие как плунжеры или клапаны

насоса, могут, в зависимости от конструкции и применения, использоваться до 20 000 часов [11].

Заключение.

Уменьшенные габариты и масса плунжерных насосов делает их привлекательными для использования в мобильных буровых установках и при модернизации буровых установок. Простота конструкции способствует лучшей ремонтопригодности насосов в тяжелых условиях эксплуатации буровых установок.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Каракозов А. А.* Буровое оборудование. Гидравлические системы буровых станков и установок: Учебное пособие / А.А. Каракозов, И.А. Юшков, М.С. Попова, С.Н. Парфенюк, И.Д. Сагайдак. - М.: Донецк: ДонНТУ, 2016. - 234 с.
2. *Коваль П.В.* Гидравлика и гидропривод горных машин. – М.: Машиностроение, 1979. - 609 с.
3. *Даутов Т.М.* Новое поколение плунжерных насосов высокого давления производства ОАО «Ижнефтемаш» / Т.М. Даутов, Р.Е. Газаров // Нефтепромысловое оборудование, 2003. - 16 с.
4. *Бурданов В.Н.* Непрерывное дозирование жидкости насосами возвратно-поступательного действия. – СПб.: Геликон Плюс, 2012. - 240 с.
5. Насосы дозировочные плунжерные. Общие сведения. https://www.areopag-spb.ru/agregaty_elektronasosnye_dozirovoch-nye_plunzhernye_obshhie_svedeniya
6. *Воробьев А.Е.* Технико-технологическое состояние буровой подотрасли России. – М.: РУДН, 2016. - 188 с.
7. TechniTex’ Reciprocaing positive displacement pumps. Technical basics and applications. Copyright LEWA, 2018. - 264 с.
8. Дозировочные плунжерные насосы. http://www.rimos.ru/catalog/group/1253#did9678.
9. *Mikhailov A.V.* Corrosion stability of cutting tool’s material for exploitation of peat deposits / A.V. Mikhailov I.A. Korolyov, A.O. Lopatiuk // Procedia Engineering, 2017, Vol. 206, C. 684.
10. Число нефтегазовых буровых установок в мире начало устойчиво расти. http://oilru.com/news/137588.
11. *Карпов Ю.А.* Текущие тенденции на рынке бурового оборудования / Бурение и нефть, 2012, Т. 1, С. 174.
12. Российская буровая отрасль: борьба за рынок. http://www.74rif.ru/bur-obr.html.
13. *Газаров Р.Е.* Повышение долговечности плунжерных пар насосов передвижных нефтепромысловых установок / Р.Е. Газаров, В.А. Терпунов, С.А. Мелкумян // Химическое и нефтяное машиностроение, 1990, Т. 8, 17 с.
14. *Газаров Р.Е.* О передаточном механизме плунжерных насосов нефтепромысловых установок / Р.Е. Газаров, Ю.В. Заславский // Химическое и нефтяное машиностроение,1994, Т. 11, 28 с.

15. *Давыдов А.В.* Перспективы использования плунжерных наосов в буровой промышленности / А.В. Давыдов, А.Ф. Мурашко // Сибирский федеральный университет, 2009, 19 с.

УДК 621.923

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Сорокина Ольга Алексеевна,
группа ТОА-16,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. Магнитно-абразивная обработка рабочих поверхностей режущих инструментов позволяет прямо или косвенно воздействовать на все группы факторов. Снижение с помощью МАО шероховатости контактных поверхностей режущего клина способствует уменьшению сил трения на этих поверхностях, усадке стружки. Соответственно уменьшаются силы резания, тепловыделение и создаются благоприятные условия для работы инструмента.

Ключевые слова: магнитно-абразивная обработка; режущий инструмент; метчик; резец

APPLICATION OF THE METHOD OF MAGNETIC-ABRASIVE MACHINING TO IMPROVE DURABILITY CUTTING TOOL

Sorokina Olga Alekseevna,
group TOA-16,
Saint-Petersburg mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. Magnetic abrasive treatment of working surfaces of cutting tools allows you to directly or indirectly affect all groups of factors. Reducing the roughness of the contact surfaces of the cutting wedge with MAO helps to reduce the friction forces on these surfaces, chip shrinkage, work on the plastic deformation of the chip. Accordingly, reduced cutting forces, heat and create favorable conditions for the tool.

Keywords: magnetic-abrasive machining; cutting tool; a tap; a cutter

В машиностроении огромную роль в процессе изготовления изделий играет металлорежущий инструмент. В настоящее время на предприятиях выход из строя металлорежущего инструмента достигает 30%, а по отдельным видам до 70-80% от общего количества потребляемого инструмента. Отказы за счет дефектов кромки происходят в 95% всех

случаев отказов инструментов. Вызвано это тем, что в процессе изготовления изделий режущая кромка инструмента и зона, близкая к ней, являются самыми нагруженными частями клиновидной области режущего инструмента [1, 2, 5, 11-13].

Наиболее эффективным решением вышеизложенной проблемы является применение на окончательной стадии изготовления режущих инструментов финишных способов обработки, которые улучшают состояние контактных поверхностей зубьев инструмента и, следовательно, повышают его стойкость [1-4, 6-10, 12-16]. Подтверждением данного факта служит график (рис. 1) износа лезвия с острой кромкой после заточки шлифованием (кривая 1) и после дополнительной доводки режущей кромки (кривая 2) [1, 3, 4].

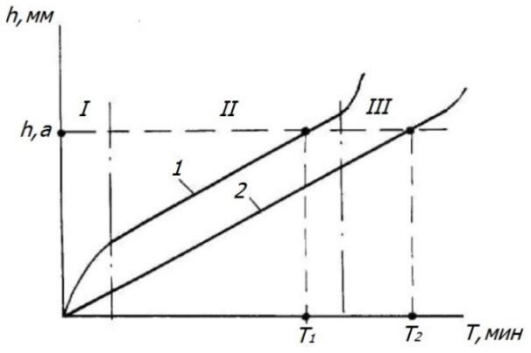


Рис. 1 - График износа лезвия режущего инструмента:
1 – с острой кромкой после заточки;
2 – после дополнительной доводки

Анализ существующих способов финишной обработки показал, что более подходящим для режущего инструмента является магнитно-абразивная обработка (МАО). МАО (рис. 2) заключается в том, что порошковая ферромагнитная абразивная масса, уплотненная энергией магнитного поля, осуществляет абразивное воздействие на обрабатываемую заготовку, при этом последней придают необходимые для обработки движения – вращательное, осциллирующее и возвратно-поступательное (если это возможно) [3, 4, 6-10, 14-16].

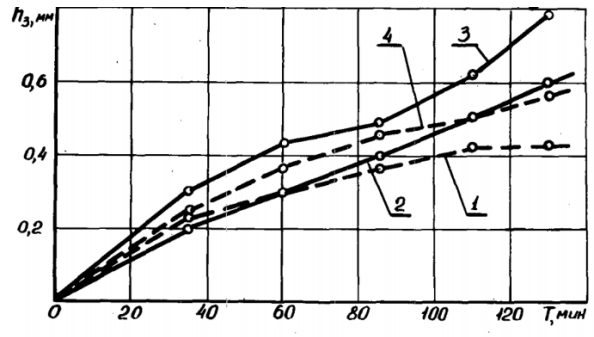


Рис. 2 - График износа обкаточных резцов при лабораторных испытаниях

В работе [7] были проведены исследования по магнитно-абразивной обработке резцов. В результате установлено, что стойкость резцов после МАО выше, чем у не полированных резцов примерно на 38% (рис. 2).

В работе [4] были проведены исследования по магнитно-абразивной обработке метчиков. На рис. 3 приведены зависимости $M_{кр}=f(R_z)$ и $N_{отв}=f(R_z)$, полученные при оценке размерной стойкости резьбонарезного инструмента по количеству годных по размеру отверстий $N_{отв}$.

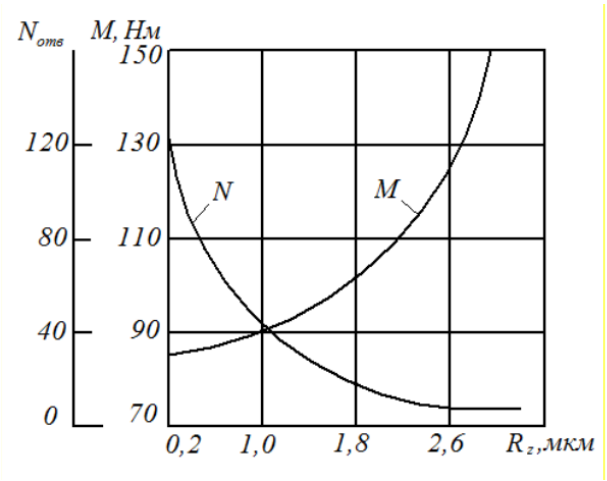


Рис. 3 - Влияние шероховатости профиля резьбы метчика на крутящий момент и число нарезаемых отверстий

В результате эксперимента параметр шероховатости в пределах R_z = 3 ÷ 1 мкм был получен алмазным шлифованием путем изменения его режима, а параметр шероховатости R_z = 1÷0,2 мкм – магнитно–абразивным полированием путем изменения его длительности. В первом диапазоне R_z крутящий момент при резании снизился в 1,7 раза, стойкость метчиков повысилась в 3 раза. Во втором диапазоне R_z, полученном с помощью МАП, крутящий момент снизился лишь на 6%, а стойкость возросла тоже в 3 раза [4, 10].

Таким образом применение магнитно-абразивной обработки позволяет увеличить стойкость режущих инструментов в 2 – 3 раза [3, 4, 6-10, 14-16].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Акулович Л.М.* Основы магнитно-абразивной обработки металлических поверхностей / Л.М. Акулович, Л.Е Сергеев, В.Я. Лебедев. – Минск: БГАТУ, 2012. – 316 с.

2. *Акулович Л.М.* Технология и оборудование магнитно-абразивной обработки металлических поверхностей различного профиля / Л.М. Акулович, Л.Е. Сергеев. – Минск: БГАТУ, 2013. – 372 с.

3. *Барон Ю.М.* Влияние состояния кромок лезвий на эффективность режущих инструментов // Инструмент и технологии, 1997, Т. 5, С. 1-11.

4. *Барон Ю.М.* Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов. – Л.: Машиностроение, 1986. – 176 с.

5. *Бевза В.Ф.* Применение метода направленного затвердевания для повышения качества трубчатых заготовок из различных чугунов / В.Ф. Бевза, В.П. Груша, В.А. Красный / Металлург, Т. 6, 2018, С 36 - 44.

6. *Ларионов С.Г.* Отделочно-упрочняющая обработка режущего инструмента уплотненным потоком абразива в магнитном поле: Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.03.01. – Л., 1991. – 17 с.

7. *Литвиненко В.А.* Финишная обработка фасонных поверхностей с высокими требованиями к качеству методом МАП с вращающейся рабочей зоной: диссертация канд. техн. наук: 05.02.08 – Л., 1985. – 259 с.

8. *Максаров В.В.* Технологическое обеспечение шероховатости резьбовых поверхностей посредством предварительного магнитно-абразивного полирования метчика / В.В. Максаров, А.И. Кексин // Металлобработка, 2018, Т. 2, С. 35-40.

9. *Максаров В.В.* Технологическое повышение качества сложнопрофильных поверхностей методом магнитно-абразивного полирования / В.В. Максаров, А.И. Кексин // Металлообработка, 2017, Т. 97(1), С. 47-57.
10. *Максаров В.В.* Повышение эффективности технологического процесса изготовления внутренних резьб в изделиях горных машин / В.В. Максаров, А.И. Кексин, С.А. Ткаченко / Металлообработка, 2016, Т. 92(2), С. 27-34.
11. *Марукович Е.И.* Повышение эксплуатационных свойств ответственных деталей горных машин из легированных чугунов / Е.И. Марукович, В.Ф. Бевза, В.П. Груша, В.А. Красный / Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2016, Т. 10, С. 48-60.
12. *Хомич Н.С.* Магнитно-абразивная обработка изделий. – Минск: БНТУ, 2006. – 218 с.
13. *Efimov A.E.* Technological quality assurance of hydraulic cylinder stock manufacturing based on high-energy impact on product surface / A.E. Efimov, V.V. Maksarov, A.I. Keksin / Advances in engineering research, 2018, Vol. 177(1), С. 321 - 327.
14. *Maksarov V.V.* Technology of magnetic-abrasive finishing of geometrically-complex products / V.V. Maksarov, A.I. Keksin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, Vol. 327(4).
15. *Maksarov V.V.* Forming conditions of complex-geometry profiles in corrosion-resistant materials / V.V. Maksarov, A.I. Keksin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 194(4).
16. *Olt J.J.* Internal thread cutting process improvement based on cutting tools treatment by composite powders in a magnetic field / J.J. Olt, V.V. Maksarov, A. I. Keksin / Journal of Silicate Based and Composite Materials, 2018, Vol. 70(4), С. 128-131.
17. *Максаров В.В.* Влияние структурных параметров режущей керамики на работоспособность инструмента при обработке прецизионных поверхностей деталей горных машин / В.В. Максаров, А.Д. Халимоненко // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2017, Т. 8 (1), С 56-64.

УДК 621.2.082.18; 62-233.3/9

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Сулейман Таймур-Фарис Мухамедович,
группа ТОА-16,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. Технологические методы обработки позволяют значительно увеличить сопротивление зубчатых колёс износу, что в полной мере отражается на прочности и сроке службе данных деталей; это существенно, учитывая тяжелонагруженные режимы работы горных машин.

Ключевые слова: зубчатые передачи; горные машины; износостойкость

TECHNOLOGICAL METHODS FOR INCREASING WEARABILITY OF GEAR SYSTEMS

Suleiman Taimour-Faris Muhamedovich,
group TOA-16,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. Technological methods let us significantly increase wear capacity of gears, their durability andlife span, which are vital, considering heavy-duty operating modes of the mining machinery.

Key words: gear systems; mining machinery; wearability

Повышение износостойкости является важной задачей для широкого круга пар трения машин, включая горное машиностроение, решаемой на основе совершенствования технологических процессов изготовления [1-6] и применения износостойких покрытий [7-13].

В настоящее время достаточно остро стоит проблема трения и износа открытых зубчатых передач в горных машинах. Актуальность проблемы объясняется тем, что работа зубчатых зацеплений происходит при тяжёлых условияхс возникновением значительных переменных напряжений при взаимодействии шестерён. В результате этого возникают нагрузки, вызывающие в данных деталях быстроразвивающиеся процессы разрушения. В соответствии с классификацией, созданной Американским обществом производителей зубчатых передач (AGMA), существует 20 видов разрушения зубчатых колёс. В горных машинах наиболее часто открытые зубчатые передачи оказываются подверженными абразивному и адгезивному

изнашиванию (заеданию). Данные виды разрушения приводят уменьшению кинематической точности шестерён, вследствие чего снижаются эксплуатационные показатели машины, долговечность, прочность, повышается интенсивность колебаний (шум, вибрации).

Для того чтобы избежать преждевременного разрушения зубчатых колёс и его последствий, рекомендуется применять технологические методы повышения износостойкости [14-16]. К данным методам, прежде всего, относят термическую и химико-термическую обработки деталей.

В качестве термического способа обработки зубчатых колёс применяют поверхностную закалку для образования на них твёрдого, устойчивого к износу слоя. Поверхностная закалка шестерён может производится как при помощи нагрева газовым пламенем, так и с использованием токов высокой частоты. Первый способ даёт возможность получить однородный закалённый слой с постепенно изменяющейся по глубине твёрдости; при этом задействуется достаточно простое оборудование и лёгкие для выполнения операции, что позволяет с высокой эффективностью применять пламенную закалку в мелкосерийном производстве. Стоит отметить, что в настоящее время также эффективно применяется поверхностная закалка при помощи плазменной дуги, позволяющая избежать возникновения высоких остаточных напряжений в результате термообработки зубьев шестерён.

Использование второго метода осуществляется нагревом детали при помощи индуктируемого в ней переменного тока высокой частоты (ТВЧ) (рис. 1). Для поверхностной закалки шестерён большого модуля широко применяется последовательный способ закалки ТВЧ, при этом каждый зуб закаливают по отдельности. Термическая обработка зубчатых колёс с использованием ТВЧ является наиболее производительной по сравнению с другими методами, её применение позволяет автоматизировать процесс, включив его в поточную линию; исходя из этого, данный метод рекомендуется в крупносерийном и массовом производстве.

Рис. 1 - Поверхностная закалка шестерни при помощи ТВЧ

В области химико-термической обработки шестерён нашли широкое применение азотирование и цементация. В основе этих методов лежит совокупность термического и химического воздействия на поверхность зубчатого колеса для изменения её химического состава и структуры, а также механических свойств. Процесс азотирования заключается в диффузионном насыщении азотом поверхностного слоя зубьев шестерни. Азотирование позволяет существенно повысить предел выносливости детали благодаря высокой твёрдости

азотированного слоя, который также обеспечивает высокую циклическую прочность и стойкость к износу. В последнее время активно применяется азотирование при помощи ионизированного азота в плазме тлеющего разряда (рис. 2).

Рисунок 2 - Зубчатое колесо после процесса азотирования

Цементация подразумевает насыщение поверхностного слоя углеродом с целью придания поверхности более высокой твёрдости, при этом сохранив вязкость сердцевины детали. Данный процесс можно произвести в твёрдых, жидких и газообразных карбюризаторах. Наиболее эффективной в настоящее время является газовая цементация, проводимая в химико-термических печах, обеспечивающая ускорение процесса обработки в 1,5-2 раза по сравнению с цементацией в твёрдом карбюризаторе, снижение себестоимости производства, благодаря чему она нашла широкое применение в крупносерийном и массовом производстве с использованием автоматических и поточных линий. Помимо этого, газовая цементация позволяет регулировать глубину науглероженного слоя при помощи изменения количества и состава газа.

Помимо операций термообработки используются и другие методы повышения износостойкости зубчатых колес, включая нанесение износостойких покрытий и специальные способы обработки зубьев колес.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Maksarov V.V.* Simulation of dynamic processes when machining transition surfaces of stepped shafts / V.V. Maksarov, V.A. Krasnyy, R.V. Viushin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 022047.

2. *Тимофеев Д.Ю.* Повышение точности изготовления прецизионных поверхностей детали шток гидроцилиндров / Д.Ю. Тимофеев, А.Е. Ефимов // Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, С. 142-145.

3. *Максаров В.В.* Моделирование динамических процессов механической обработки в среде NI LABVIEW для совершенствования технологии изготовления деталей горных машин / В.В. Максаров, А.Е. Ефимов, Д.А. Осминко // Металлообработка, 2018, Т. 1(103), С. 6-13.

4. *Максаров В.В.* Технологическое повышение качества сложнопрофильных поверхностей методом магнитно-абразивного полирования / В.В. Максаров, А.И. Кексин // Металлообработка, 2017, Т. 1(97), С. 47-57.

5. *Максаров В.В.* Повышение эффективности технологического процесса изготовления гидроцилиндров горного оборудования с применением предварительного локального термического воздействия / В.В. Максоров, Д.Ю. Тимофеев, А.Е. Ефимов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2016, Т. 9, С. 65-73.
6. *Alekseeva L.B.* Evaluation of effect of oil film of rotor bearing / L.B. Alekseeva, V.V. Maksarov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 022003.
7. *Марукович Е.И.* Повышение эксплуатационных свойств ответственных деталей горных машин из легированных чугунов / Е.И. Марукович, В.Ф. Бевза, В.П. Груша, В.А. Красный // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2016, Т. 10, С. 48-60.
8. *Ольт Ю.* Обеспечение адгезионной прочности газотермических покрытий поршневых колец двигателей карьерного транспорта / Ю. Ольт, В.В. Максаров, В.А. Красный // Записки Горного института, 2018, Т. 229, С. 77-83.
9. *Красный В. А.* Оценка влияния шероховатости поверхности на повышение прочности сцепления износостойкого напыляемого покрытия / В.А. Красный, В.В. Максаров // Металлообработка, 2014, Т. 5, С. 47-51.
10. *Krasnyy V.* Increase of wear and fretting resistance of mining machinery parts with regular roughness patterns / V. Krasnyy, V. Maksarov, J. Olt // Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium, 2016, Vol. 27, С. 151-156.
11. *Krasnyi V.A.* Improving wear resistance of friction assemblies of oil-well pumps having seals from directionally reinforced polymer composites / V.A. Krasnyi, V.V. Maksarov // Chemical and Petroleum Engineering, 2017, С. 121-125.
12. *Maksarov V.* The formation of surface roughness of piston rings for the purpose of improving the adhesion of wear-resistant coatings / V. Maksarov, V. Krasnyy // Key Engineering Materials, 2017, Vol. 736, С. 73-78.
13. *Красный В.А.* Триботехнические характеристики деталей горных машин с регулярной микрогеометрией поверхности / В.А. Красный, В.В. Максаров // Металлообработка, 2016, Т. 1(91), С. 29-35.
14. *Калашников А.С.* Современные методы обработки зубчатых колес / А.С. Калашников, Ю.А. Моргунов, П.А. Калашников. - М.: Изд. Дом «Спектр», 2012 - 238 с.
15. *Махиянов В.В.* Повышение долговечности нагруженных зубчатых передач / В.В. Махиянов, Г.Ф. Тарасов // Актуальные проблемы авиации и космонавтики, 2011, С. 17-18.
16. *Мирзаев К.К.* Износостойкость зубчатых передач, работающих в абразивной среде / К.К.Мирзаев, Б.У. Мустаева // Universum: Технические науки: электрон. научн. журн., 2019, Т. 3(60).

УДК 622.236.22

СОХРАНЕНИЕ КАЧЕСТВА ТОПЛИВ ДЛЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Султанбеков Радэль Рамилевич,
аспирант,
Санкт-Петербургский горный
университет

Аннотация. В данной работе анализируется проблема, которая может возникнуть при смешении топлив в резервуарах, а именно активное образование общего осадка в смеси из-за несовместимости нефтепродуктов. Обозначена проблема преждевременного определения совместимости до смешивания нефтепродуктов в резервуарах. Также рассмотрены существующие методы определения совместимости и определены их недостатки. Предложено решение для точного определения совместимости смешиваемых нефтепродуктов. Проведены исследования для обоснования предложенного решения.

Ключевые слова: нефтепродукты; топливо; совместимость; смешивание; общий осадок; хранение; оборудование

PRESERVATION OF QUALITY FUELS FOR SAFE OPERATION OF EQUIPMENT FUEL AND ENERGY COMPLEX

Sultanbekov Radel Ramilevich,
postgraduate student,
Saint-Petersburg Mining University

Abstract. The article analyzes the problem of the formation of a total sediment in the mixture due to the incompatibility of fuels, which occurs when petroleum products are mixed in tanks. The problem of determining compatibility before mixing petroleum products in tanks is considered. Also reviewed are existing methods for determining compatibility. The proposed solution for accurate determination of the compatibility of the mixed petroleum products.

Keywords: oil products; fuels; compatibility; mixing; total sediment; storage; equipment

Объекты для транспорта и хранения нефтепродуктов должны работать эффективно, чтобы обеспечивать качественными энергоресурсами промышленные объекты и оборудования топливно-энергетического комплекса [12]. При смешении необходимо также необходимо уделять

внимание безопасности [9, 11]. Технологический процесс непрерывен, поэтому зачастую в резервуары, технологические емкости имеющие остатки, сливают новый продукт, из-за отсутствия свободных емкостей. Нефтепродукты, на промышленных объектах в основном используются для обогрева промышленных и жилых объектов и в качестве топлив для технологических установок. Однако при технологических операциях в емкостях, всегда остается остаток нефтепродуктов, который может повлиять на качество при смешении различных видов нефтепродуктов.

В последние годы, в мире установилась тенденция более глубокой переработки нефти, это значит, что качество нефтепродуктов снижается из-за увеличения доли асфальто-смолистых продуктов в составе топлив. Поэтому стабильность и совместимость нефтепродуктов является важным параметром. Так как при смешивании разных видов темных нефтепродуктов есть риск выпадения осадка [6, 10, 15].

Высокий показатель общего осадка в нефтепродуктах негативно влияет на работу двигателей и топливной системы, способствует их износу и нарушению работы, а также приводит к засорению фильтров и сепараторов [5]. Также выпадение общего осадка способствует активному накоплению «мертвого» остатка в резервуарах, что может привести к ухудшению качества сливаемых нефтепродуктов и снизит полезный объем резервуаров.

Существующие методы оценки стабильности и совместимости нефтепродуктов [1, 2, 3, 13, 14] имеют недостатки, такие как низкая точность и большая погрешность и большая длительность проведения испытаний.

Для определения совместимости нефтепродуктов разработан новый алгоритм метода на основе ГОСТ Р 33360, который позволяет получить результат точно и быстро [7, 8]. Проведены исследования влияния соотношения смешения несовместимых печных топлив. Компонент №1 «Мазут топочный 100 (II вида)», компонент №2 «Смола пиролизная тяжелая, марка А». Результаты представлены ниже.

В опытах (табл. 1) проведены анализы совместимости с разными соотношениями смеси нефтепродуктов. Как видно из результатов топлива несовместимы. Максимальное осадкообразование произошло при соотношении смешивания от 50% до 80% содержания компонента 1, далее при увеличении доли компонента 2 происходит снижение осадкообразования, а в опытах 8 и 9 значение TSA не превышает требуемые нормы [4]. Это объясняется тем, что в компоненте 2 содержатся асфальтены в большем количестве, чем в компоненте 1, где преобладает содержание парафинов. При высоком содержание парафинов происходит насыщение и нарушение равновесия системы, в результате образуются прочные межмолекулярные взаимодействия, вызванных изменением структурно-группового состава и взаимного соотношения концентраций высокомолекулярных соединений топлив, что приводит к образованию ассоциатов молекул, объемных коллоидных частиц [2].

Таблица 1

Определение общего осадка при разных соотношениях смеси компонентов

Компонент №1. Мазут топочный 100, II вида малозольный (ГОСТ 10585-2013). $\rho_{15} = 932{,}4\ ^{кг}/_{м^3}$; $\upsilon_{50} = 79{,}5\ мм^2/с$; Сера $= 0{,}75\%$; $TSA = 0{,}02\%$; Компонент №2. Смола пиролизная тяжелая, марка А (ТУ2451-183-72042240-2013). $\rho_{15} = 1071{,}0\ ^{кг}/_{м^3}$; $\upsilon_{50} = 22{,}1\ мм^2/с$; Сера $= 0{,}05\%$; $TSA = 0{,}04\%$.		
Опыт №	Соотношение смешивания компонентов, %	Значение TSA смеси, %
1	№1 – 90, №2 – 10	0,18
2	№1 – 80, №2 – 20	0,23
3	№1 – 70, №2 – 30	0,25
4	№1 – 60, №2 – 40	0,27
5	№1 – 50, №2 – 50	0,23
6	№1 – 40, №2 – 60	0,18
7	№1 – 30, №2 – 70	0,13
8	№1 – 20, №2 – 80	0,09
9	№1 – 10, №2 – 90	0,07

Видно, что при заполнении резервуара с остатками компонента 1, наблюдается активное осадкообразование. Однако при 10 - 20 % содержании компонента 2, значение общего осадка не превышает норму [4]. При необходимости становится возможным подбор соотношения смешиваемых нефтепродуктов, которое позволит сохранить приемлемое качество смеси и обеспечить безопасность при эксплуатации промышленных объектов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 33365-2015. Топлива остаточные. Определение прямогонности. Метод определения стабильности и совместимости по пятну (с Поправкой). - М.: Стандартинформ, 2016.
2. ГОСТ Р 50837.3-95. Топлива остаточные. Определение прямогонности. Метод определения толуольного эквивалента. – ИПК Издательство стандартов, 1996.
3. ГОСТ Р 50837.4-95. Топлива остаточные. Определение прямогонности. Метод определения ксилольного эквивалента. – ИПК Издательство стандартов, 1996.
4. ISO 8217 Fuel Standar – 2017. https://www.wfscorp.com/ sites/default/files/ISO-8217-2017-Tables-1-and-2-1-1.pdf
5. *Каримов Р.М.* Влияние содержания парафинов, смол и асфальтенов на товарные качества нефтей / Р.М. Каримов, Б.Н. Мастобаев // Башкирский химический журнал, 2012, Т. 19.

6. *Митусова Т.Н.* Оценка стабильности и совместимости остаточных топлив / Т.Н. Митусова, Н.П. Аверина, И.А. Пугач // Мир нефтепродуктов 2005, Т. 1, С. 33-35.
7. *Султанбеков Р.Р.* Исследование несовместимости нефтепродуктов при смене нефтепродукта в резервуарах при приемо-сдаточных операциях / Р.Р. Султанбеков, М.Н. Назарова // Сборник трудов конференции «Энергия молодежи для нефтегазовой индустрии», Альметьевск: АГНИ, 2018.
8. *Султанбеков Р.Р.* Исследования совместимости нефтепродуктов при смешивании на резервуарах-хранилищах / Р.Р. Султанбеков, М.Н. Назарова // Сборник трудов международной конференции «West Siberian Petroleum Conference 2018», Тюмень: ТИУ, 2018.
9. *Кондрашова О.Г.* Причинно-следственный анализ аварий вертикальных стальных резервуаров / О.Г. Кондрашова, М.Н. Назарова // Нефтегазовое дело, 2004.
10. *Шарифуллин А.В.* Состав и структура асфальтено-смоло-парафиновых отложений Татарстана / А.В. Шарифуллин, Л.Р. Байбекова, Р.Ф. Хамидуллин // Технологии нефти и газа, 2006, Т. 4.
11. *Султанбеков Р.Р.* Исследование влияния влажности в паровоздушной среде вертикального стального резервуара для хранения нефти и нефтепродуктов на образование статического электричества / Р.Р. Султанбеков, М.Н. Назарова // Горный информационно аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2019, Т. 4 (специальный выпуск 7), Т. 2, С. 498–506.
12. *Марков В. А.* Работа дизелей на нетрадиционных топливах / В.А. Марков [и др.]. – М.: Изд-во Легион-Автодата, 2008. – 464 с.
13. *Абрамова Е.А.* Разработка метода оценки стабильности и совместимости судовых топлив / Е.А. Абрамова, Г.В. Шувалов, О.А. Ясырова // Гео-Сибирь, 2011, Т. 5(2), С. 206-209.
14. Патент на изобретение. Способ определения совместимости компонентов топливной смеси. RUS 2444005 25.10.2010 / Л.А. Дерюгина, В.И. Ярош.
15. *Asomaning S.* Petroleum science and technology, 2003, Vol. 21(3-4), С. 581-590.

УДК 521.398

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИЕМА СИГНАЛОВ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ СВЯЗИ

Теренина Ольга,
группа РСК-17,
Санкт-Петербургский горный университет, кафедра электронных систем

Аннотация. Исследуется влияние межсимвольных искажений на помехоустойчивость приема многопозиционных сигналов, используемых для подземной связи. Приведены результаты моделирования на ЭВМ субоптимальных схем приема многопозиционных сигналов при различных сквозных передаточных характеристиках каналов. В качестве модели канала использованы фильтры Баттерворта и вида приподнятого косинуса.

Ключевые слова: аварийное оповещение; подземная связь; многопозиционные сигналы; межсимвольные искажения

IMPROVING OF SIGNALS RECEPTION EFFICIENCY FOR UNDERGROUND COMMUNICATIONS

Terenina Olga,
group RSK-17,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Electronic Systems

Abstract. The influence of intersymbol distortion on the noise stability of receiving multi-position signals used for underground communication is investigated. The results of computer simulation of suboptimal reception schemes of multi-position signals are given. Used models of different channel transfer characteristics. As a model of the channel, Butterworth filters and a type of elevated cosine were used.

Keywords: alerting; underground communications; multiposition signals; intersymbol distortion

Введение.

Известны системы оповещения использующие передачу сигналов инфранизких частот через массив горных пород и сохраняющие работоспособность в аварийных ситуациях. К ним относятся: «Земля-3М», «СУБР-1П», «Радиус-2», «СУБР-1СВМ», «Гранч», и др. В основном, эти системы основаны на использовании сигналов с дискретной частотной

модуляцией и амплитудной модуляции с одной боковой полосой [1,2]. Сравнительная оценка эффективности использования этих методов формирования сигналов в системах подземной связи дана в работе [3]. Малая полоса пропускания системы и значительное изменение затухания сигнала в полосе рабочих частот позволяют добиться лишь передачи кодовых сообщений о типе аварии. Поэтому одним из основных вопросов остается выбор вида формируемого сигнала и его информативность. В работе [4] предложено для организации голосовой подземной связи использовать сжатие речи при формировании сигнала и использовать для повышения скорости передачи многопозиционные сигналы. В работе [5] рассмотрены принципы построения системы связи использующей сложные виды модуляции совместно с процедурой сжатия голосового сигнала при его формировании и основные операции обработки сигнала, необходимые при реализации системы связи. В работах [6, 7] выполнено обоснование структурной схемы системы связи и рассмотрены пути реализации основных компонентов системы. При этом для передачи сигналов через массив горных пород показана возможность использования разных видов модуляции, в том числе дискретной частотной (ЧМ), квадратурной фазовой модуляции (ФМ), а также квадратурной амплитудной модуляции (КАМ).

Постановка проблемы. Одна из главных проблем, возникающих при высокоскоростной передаче цифровых сигналов по каналам с ограниченной полосой частот, заключается в уменьшении влияния межсимвольных искажений (МСИ) на помехоустойчивость приема. При скорости передачи сообщений выше скорости Найквиста резко возрастает межсимвольная интерференция, что приводит к увеличению ошибок. В настоящее время известны различные методы высокоскоростной передачи информации по каналам с ограниченной полосой частот, связанные с использованием многопозиционных сигналов, приемом в “целом”, а также применением специальных сигналов, энергия которых локализована в заданной частотно-временной области. В данной работе исследуется влияние МСИ на помехоустойчивость приема многопозиционных сигналов, в том числе сигналов с квадратурной амплитудной модуляцией (КАМ). Сигнал КАМ формируется из двух синхронных по такту сигналов с амплитудно-фазовой модуляцией (АФМ). Оба сигнала АФМ имеет одинаковое число позиций, равное корню квадратному из общего числа позиций требуемого сигнала КАМ, и формируются из напряжения единого генератора несущей частоты со сдвигом фазы на $\pi/2$. В работе [8] исследованы методы формирования АФМ сигнала и исследована их помехоустойчивость для некоторых распространенных моделей реальных каналах с априори неизвестными параметрами. Основным условием физической реализуемости систем связи с АФМ является возможность достаточно точного измерения текущей амплитуды и фазы несущего колебания к моменту приема очередного элемента. Она может быть осуществлена, прежде всего, если параметры канала имеют время корреляции существенно большее длительности

элемента сигнала T. В данной работе предполагается, что это условие выполняется.

Результаты.

При сделанных предположениях система связи с КАМ сигналами может быть реализована, когда для оценки параметров несущего колебания передается специальная синхрогруппа из N элементов с максимальной энергией. Как показано в работах [9, 10] этот путь хорошо зарекомендовал себя в системах МДВР с обычными сигналами ФМ и относительной ФМ (ОФМ). Переход от АФМ к КАМ-сигналам выполнен в работе [11], в которой синтезирован алгоритм приема сигналов с квадратурной амплитудной модуляцией в каналах с замираниями. Для уменьшения их влияния на помехоустойчивость системы передачи дискретных сигналов через толщу горных пород в работе используется компенсация искажений с помощью системы с обратной связью по решению, а также фильтрация принимаемых сигналов. Для формирования частотных характеристик канала фильтра используются фильтры с АЧХ вида «приподнятого косинуса». В работе исследуется ситуация, когда ФЧХ такого фильтра является нелинейной функцией частоты. Если групповое время запаздывания (ГВЗ) зависит от частоты линейно, то ФЧХ будет изменяться по параболическому закону. При параболической аппроксимации ГВЗ, ФЧХ следует кубическому закону. Исследовано влияние искажения ФЧХ на помехоустойчивость приема. Показано, что к наибольшим потерям в помехоустойчивости приводят параболические искажения ФЧХ. Даже при фазовых сдвигах порядка пяти градусов вероятность ошибок при высоких значениях отношения сигнал/шум для КАМ-сигналов увеличивается на два порядка. Возрастание изменения фазы до величины десяти градусов приводит к недопустимым потерям помехоустойчивости. Поэтому при наличии параболических искажений ФЧХ необходимо осуществлять ее коррекцию, снижая значение фазового сдвига до величины порядка одного градуса. Кубические искажения ФЧХ меньше влияют на помехоустойчивость по сравнению с параболическими искажениями. Коррекцию для таких каналов необходимо проводить в случае, если сдвиг фазы окажется больше пяти градусов. Изучение характеристик физически реализуемых фильтров показывает, что большинство из них имеет ФЧХ с кубической аппроксимацией. В работе приведены результаты моделирования на ЭВМ подоптимальных схем приема основных систем КАМ при различных сквозных передаточных характеристиках радиоканалов. Анализ помехоустойчивости алгоритма может быть выполнен аналитически [12] и путем математического моделирования [13, 14].

Анализ помехоустойчивости алгоритма выполнен в программной среде LabView, при этом по методике, изложенной в работе [15], осуществлялся учет влияния импульсной помехи. В ПО заложена возможность задавать синхропосылки пользователем, сигнал КАМ формируется с помощью прибора модульной архитектуры производства National Instruments - ВЧ векторного генератора PXIe – 5673. С помощью ПО NI LabVIEW осуществляется непрерывная по фазе генерация КАМ сигнала. Для данного

случая программа, написанная в среде LabVIEW, осуществляет модуляцию в конфигурациях: КАМ-4, -8, -16, применяет сглаживающие фильтры к информационным посылкам, осуществляет пересчет частоты дискретизации информации, для последующего согласования с параметрами генератора, и производит проверку непрерывности сигнала по фазе. Для приема и демодуляции сигналов используется ВЧ векторный анализатор сигналов NI PXIe-5663E, работающий в диапазоне от 10 МГц до 6.6 ГГц. Расчет энергетического спектра зависимых сигналов при использовании канального кодирования выполнялся по методике, изложенной в работе [16]. Для определения расстояния до объекта использовались результаты работы [17].

Вывод.

Моделирование показало, что передача многопозиционных сигналов через массив горных пород требует коррекции межсимвольных искажений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Давыдов В.В.* Шахтная беспроводная связь / Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2010, Т. 11, С. 221-228.

2. *Выболдин Ю.К.* Метод определения местоположения в шахте при аварии / Ю.К. Выболдин, В.А. Шпенст / Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2017, Т. 4, С. 308-317.

3. *Stolarczyk L.G.* Applicatin of radio geophysics to mining engineering. - Inc. RATON, New Mexico, 2011. - 146 p.

4. Patent US 2006/0148514 A1, D. Reagor, J. Vasquez-Dominguez, 06.07.2006.

5. *Выболдин Ю.К.* Система аварийного оповещения подземных рудников // Ю.К. Выболдин, В.А. Шпенст / Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2015, Т. 2, С. 336-343.

6. *Выболдин Ю.К.* Система передачи речевых сигналов через массив горных пород / Ю.К. Выболдин, В.А. Шпенст // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2015, Т. 11, С. 37-49.

7. *Выболдин Ю.К.* Беспроводная локальная система оповещения / Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, С. 38-41.

8. *Выболдин Ю.К.* Помехоустойчивость приема многопозиционных АФМ сигналов в каналах связи с замираниями / Научная сессия ГУАП, сб. докл. в 3 ч., Ч II. «Технические науки», 2018, С. 32-37.

9. *Спилкер Дж.* Цифровая спутниковая связь. – М.: Связь, 1979. - 592 с.

10. *Выболдин Ю.К.* Методы обработки дискретных сигналов в системах передачи информации / Ю.К. Выболдин, А.В. Кривошейкин, Л.Х. Нурмухамедов. - СПб.: Изд-во ГИКИТ, 2015. - 320 с.

11. *Выболдин Ю.К.* Алгоритм приема сигналов с квадратурной амплитудной модуляцией в каналах связи с замираниями / Ю.К. Выболдин, К.В. Зайченко // Радиотехника, 2018, Т. 9, С. 193-199.

12. *Выболдин Ю.К.* Помехоустойчивость приема сигналов в условиях межсимвольных искажений с использованием обратной связи // Ю.К. Выболдин, С.И. Малинин / Актуальные проблемы радио- и кинотехнологий // Материалы Международной научно-технической конференции, 2017, С. 95-102.
13. *Vyboldin Y.K.* Simulation of interference and signals in subsurface radar / Y.K. Vyboldin, S.V. Borisov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 194 (6), 062036.
14. *Rastvorova I.I.* Optimization of electromagnetic systems of impact on metals in semi-solid casting condition / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017.
1**5**. *Vyboldin Y.K.* Interference effect of impulse noise on noise immunity of communication and control channels in underground structures // Y.K. Vyboldin, S.V. Borisov / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 87, 082054.
16. *Vyboldin Y.K.* Power spectrum's analysis of pseudo-random pulses sequence / Y.K. Vyboldin, S.I. Malinin // 2018 International Symposium on Consumer Technologies ISCT, 2018.
17. *Borisov S.V.* Method of estimating linear dimensions of object by subsurface radar sounding / S.V. Borisov, Y.K. Vyboldin / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 194(6), 062005.

УДК: 622.013.364.2

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Коптев Владимир Юрьевич,
канд. техн. наук, доцент,
Токарев Сергей Дмитриевич,
группа ГТС -15,
Санкт-Петербургский горный университет, Электромеханический факультет

Аннотация. Выполнены расчеты ущерба наносимого окружающей среде от пыли, газов, горных работ для строительства карьерных трасс. В результате расчётов был выбран наиболее экологически чистый вид транспорта. Другие вредные воздействия (шум, вибрация и электростатические излучения, утилизация изношенных узлов и деталей) учитываются в работе при сравнении транспортных систем косвенно, по величине энергозатрат на транспортирование.

Ключевые слова: транспортная система; карьер; экология; выбросы; воздействия; затраты

ECONOMIC EVALUATION OF ECOLOGICAL SAFETY OF TRANSPORT SYSTEMS OF MINING ENTERPRISES

Koptev Vladimir Yurievich,
PhD, associate Professor,
Tokarev Sergey Dmitrievich,
group GTS -15,
Saint-Petersburg Mining University,
Electromechanical faculty

Abstract. Calculations of damage to the environment from dust, gases, and mining for the construction of pit routes have been performed. The most ecologically clear type of mining transport have been found in result of calculations. Other harmful effects (noise, vibration and electrostatic radiation, utilization of worn-out components and components) are taken into account when comparing transport systems indirectly, by the amount of energy used for transportation.

Keywords: transport system; quarry; ecology; emissions; impacts; costs

Добычные работы характеризуются высоким уровнем антропогенного воздействия на природную среду и, с учетом предыдущей деятельности, большим экономическим ущербом от экологических загрязнений.

Знание структуры и объёмов вредных воздействий от эксплуатации горнотранспортной техники, а также выбор более экологически «чистых» транспортных систем позволяет определять пути повышения экологической безопасности эксплуатации автомобильного, железнодорожного и конвейерного транспорта.

Работа транспортной техники на открытых горных работах сопровождается разными по своей природе и значимости выбросами вредных веществ и вредными воздействиями (шумом, вибрацией, электростатическим излучением).

Для обоснования наиболее экологичного вида транспорта по экономическим показателям ущерба необходимо:

- выполнить анализ экологических параметров основных транспортных систем на карьерах: автомобильных, железнодорожных и конвейерных;
- провести анализ структуры вредных выбросов и воздействий от эксплуатации транспортных машин;
- выполнить расчёты годового ущерба от выбросов вредных веществ в атмосферу;

выбрать на основе расчётов ущерба окружающей среде наиболее безопасный вид транспорта.

Выбросы вредных веществ транспортных машин подразделяются на:

- газы при работе автотранспортных средств и тяговых средств железнодорожного транспорта с двигателями внутреннего сгорания;
- сдувание пыли из транспортных средств при перемещении полезных ископаемых и пустых пород;
- пыль на пунктах перегрузки;
- пыль на карьерных автодорогах.

При сравнении транспортных систем необходимо учитывать:

- объемы горных работ необходимых для организации процесса транспортирования и затраты времени на монтаж;
- капитальные затраты;
- негативные факторы и степень их значимости при использовании транспортного средства (шум, вибрация, электромагнитные излучения и утилизация сменных узлов и расходных материалов) с учетом суммарных удельных воздействий приведенными показателями;
- ущерб от вредных выбросов, выраженный в рублях;
- удельную энергоемкость транспортирования.

Для анализа экологических характеристик и выбора наилучшего по экологическим и экономическим показателям вида транспорта выполнены расчеты для одинаковых условий работы карьера, объёмов добычи и максимального для каждого вида транспорта угла наклона транспортирования по наикратчайшей трассе.

Расчет объемов вредных выбросов произведен в соответствии с «Методикой расчета …» [12]. При расчете учтены конкретные особенности работы карьера и методы снижения их воздействий за счет искусственного проветривания, применения присадок к топливу, встраиваемых и индивидуальных средств защиты [4].

При движении автосамосвалов с поверхности горной массы, размещенной в кузове машин, мелкие частицы в виде пыли выносятся и оседают в карьере. Количество пыли зависит от гранулометрического состава транспортируемого груза, направления и скорости ветра, направления движения и скорости машин, системы подрессоривания и др.

Для определения объемов пыли использована методика [2].

Площадь боковой поверхности груза определялась по техническим характеристикам принятых для расчёта автосамосвалов и думпкаров (вместимости, ширине и длине кузова); ленточного конвейера по ширине ленты. Результаты расчета площади поверхности груза представлены в табл. 1.

Таблица 1

Расчётные площади поверхности груза, размещенного в кузове и на ленте конвейера

№ п/п	Транспортная машина	Вместимость*, $м^3$	Длина, м	Ширина, м		Площадь поверхности груза, $м^2$	Объем сдуваемой пыли, мг/с
				Наружная	Внутренняя		
1	Автосамосвал БелАЗ 7512	47/52, (61/68)	11,3	6,14	5,95	50	500
2	Автосамосвал БелАЗ 75131	51/77 (103,7/134,9)	11,5/ 7,25	6,25	6,0	58	580
3	Автосамосвал БелАЗ 75214	86, (115)	13,4	7,8	6,1	80	800
4	CAT-785	57/78	11,2	6,64	6,2	60	600
5	Юнит-Риг М150	61,2/78	11,0	6,70	5,95	62	620
6	Думпкар ВС105	48/55	14,9	3,75	3,15	31	305
	Конвейер с лентой 1,4м	нет	1000	нет	нет	1280	12000

Выполнен расчет экономического ущерба при минимальном объёме горных работ для прокладки дорог (трассы конвейера) в траншее карьера. Конвейерный транспорт с самым большим углом транспортирования (18 градусов) требует меньших объемов горнокапитальных работ. Наибольший допустимый уклон для железнодорожного транспорта принят 3 градуса и для него требуется наибольший объем горных работ, что делает его менее конкурентноспособным по сравнению с автомобильным (8 градусов) и конвейерным транспортом.

По каждому типу оборудования рассчитана масса каждого из загрязнений и с учетом нормативных отчислений за выбросы определен материальный ущерб, руб.

Результаты расчета ущерба от загазованности и пылевыделения при транспортировании, обустройства дорог и вредных воздействий (шума, вибрации, пролива топлива, электромагнитных излучений), величина выброса оценивается косвенно, увеличением себестоимости и энергоемкости транспортирования [6, 7, 10].

Результаты годового ущерба для карьеров с объёмами добычи 1,5 и 10 млн. т /год представлены на рис. 1 и 2.

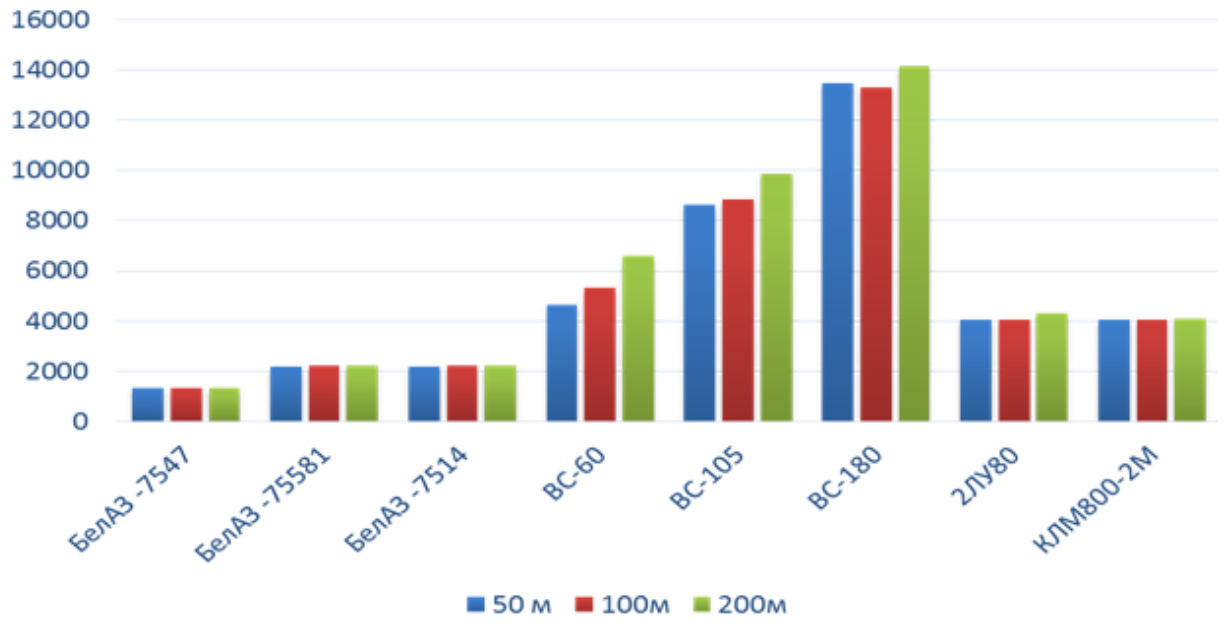


Рис. 1 – Величина годового ущерба млн.руб./год. , от выбросов вредных веществ в атмосферу, для карьера производительностью 1,5 млн.т/год

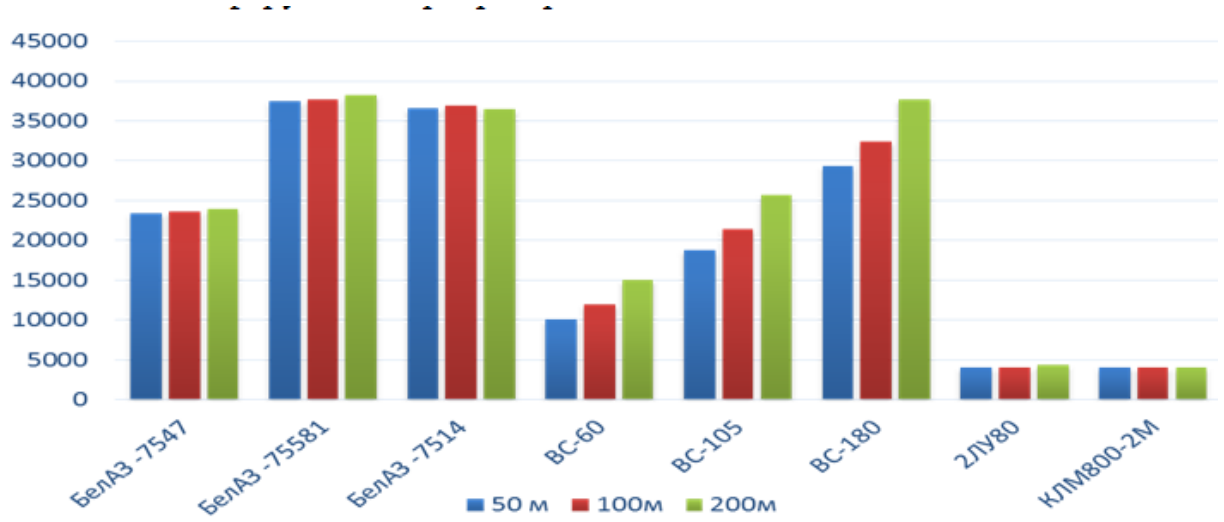


Рис. 2 – Величина годового ущерба млн.руб./год. , от выбросов вредных веществ в атмосферу, для карьера производительностью 10 млн.т/год

Выводы.

Сравнение годового экономического ущерба при применении рассматриваемых видов транспорта показало, что наиболее выгодным по

экологическому показателю для карьера производительностью 1.5 млн.т/год является автомобильный транспорт, а с увеличение производительности до 19 млн. т /год более выгодным становится конвейерный транспорт, так как он обладает наименьшей длинной транспортирования. Другие вредные воздействия (шум, вибрация, электромагнитные излучения, утилизация) учитывались по величине энергозатрат на транспортирование [8].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методика расчета вредных выбросов (сбросов) и оценки экологического ущерба при эксплуатации различных видов карьерного транспорта. - М.: Институт горн. дела им. АА. Скочинского, 1994.
2. Томаков П.И. Экология и охрана природы при открытых горных работах / П.И. Томаков [и др.]. – М.: изд. МГГУ, 1994.
3. Рогалев В.А. Нормализация атмосферы горнорудных предприятий. - М.: «Недра», 1993.
4. Кулешов А.А. Методика расчета вредных выбросов / А.А. Кулешов, В.А. Новиков, О.Д. Серебренников. – СПб., 1996.
5. Оптимизация параметров транспортных систем глубоких алмазодобывающих карьеров с использованием компьютерных технологий. Отчет о НИР № 01200112629, 5ГМ, СПГГИ (ТУ), 2002.
6. Коптев В.Ю. Определение экологических характеристик транспортной системы с использованием дизельной техники / В.Ю. Коптев, В.Н. Павлов // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2004, Т. 12, С.152-154.
7. Токарев С.Д. Сравнение транспортных систем карьеров по экологическим воздействиям / Сборник тезисов секции «Круглый стол молодых ученых» конференции «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2018», 2018, С. 152.
8. Токарев С.Д. Экологические характеристики карьерного транспорта / Научная конференции студентов и молодых ученых «Полезные ископаемые России и их освоение», СПГУ, 2018.
9. Основы государственной политики в области экологии на период до 2030 года (утв. Президентом РФ от 30.04.2012 г.) // Российская газета. − 25.12.2012.
10. Коптев В.Ю. Developing an Ecological Passport for an Open-Pit Dump Truck to Reduce Negative Effect on Environment / В.Ю. Коптев, А.В. Коптева // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 87(2), С. 1-5.

УДК 7.026.2

3D-МОДЕЛЬ В ПРОИЗВОДСТВЕ ХУДОЖЕСТВЕННОЙ КЕРАМИКИ

Трошина Елена Юрьевна,
группа МНММ-18,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра МиТХИ

Аннотация. Данная работа предлагает полезную модель по применению новых технологий в современном промышленном керамическом производстве. Представляется технология использования 3D-моделирования и печати для решения ряда задач. Идея направлена на повышение эффективности производства.

Ключевые слова: 3D-модель; 3D-печать; пластик; керамика; шликер; литье

THE 3D MODEL IN THE PRODUCTION OF ARTISTIC CERAMICS

Troshina Elena Yurievna,
group MNMM-18,
Saint-Petersburg Mining University,
Department MS&TAP

Abstract. This work offers a useful model for the application of new technologies in modern industrial ceramic production. The technology of using 3D-modeling for solving a number of problems is presented. The idea is aimed at improving production efficiency.

Keywords: 3D model; 3D printing; plastic; ceramics; casting slip

В промышленном производстве фарфоровых кабинетных скульптур действует технология шликерного литья в гипсовые формы. Эти формы снимаются с оригинальной модели, изготовленной обычно из скульптурного пластилина. Из-за недолговечности гипсовой формы эта операция повторяется не один раз. В связи с чем, пластилиновая модель со временем портится, ее фигура претерпевает лишние изменения [1]. Это влечет за собой трату времени на исправление оригинала, или отличие готовых партий от первоначального образа. Чтобы устранить эту проблему и улучшить функциональность технологии предлагается техническое решение: создание 3D-модели художественного объекта.

Идея этой полезной модели состоит в том, чтобы заменить недолговечный пластилиновый оригинал пластиковым прототипом. Он также подходит для снятия гипсовых форм, но при этом долговечен для

эксплуатации. Для создания пластиковой модели необходимо выполнить следующие задачи.

Изготовление начинается с 3D-сканирования пластилинового оригинала. Для этого он предварительно покрывается порошковым известняковым проявителем с целью предотвращения бликов. Далее сканируется на бесконтактном активном сканере [2]. Информация о поверхности в формате STL поступает на компьютер. Поверхности соединяются в программе Geomagic Studio и образует целиковую 3D-модель изделия. Выбор данной программы рекомендован в связи с наличием функции умного заполнения полигонов, которые могли не считаться со сложной формы модели.

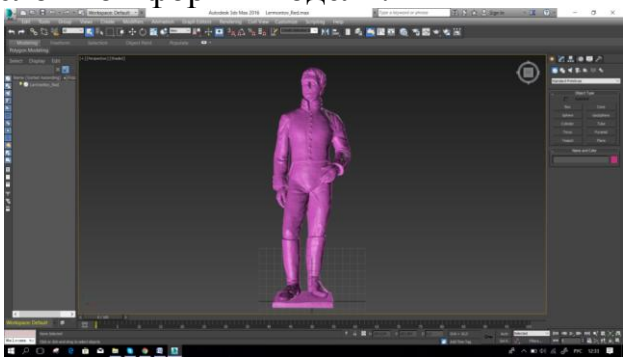


Рис. 1 - 3D-модель кабинетной скульптуры

Такую модель можно редактировать и улучшать, менять размер в программах 3D-моделирования (рис. 1).

Также 3D-модель можно виртуально делить на детали и печатать их отдельно. Это связано с тем, что в производстве фарфоровых кабинетных скульптур используется технология не полной отливки целого изделия, а по частям. Эти части впоследствии соединяются в единое изделие. Связано это со сложностью формы скульптуры [3]. Для получения пластикового прототипа модель печатается на 3D-принтере [4].

Кафедрой материаловедения и технологии художественных изделий уже было использовано данное техническое решение. Пластилиновая фигура кабинетной скульптуры, выполненная в пластилине, была отсканирована на 3D-сканере «С1» (табл. 1) [5]. Полученная поверхность соединена в 3D-модель. Распечатана на 3D-принтере из экологичного PLA пластика [6]. С части пластиковой скульптуры (голова) успешно была снята гипсовая форма. В нее был отлит шликер. Далее полученная отливка успешно прошла утильный обжиг (рис. 2).

Таблица 1

Характеристики 3D-сканера «С1»

Параметр	Характеристика
Технология	Бесконтактный, активный
Передача цвета	Нет
Класс лазера	1
Разрешение по оси Z, мм	0,1
Точность, мм	0,05
Форматы вывода данных	STL, OBJ

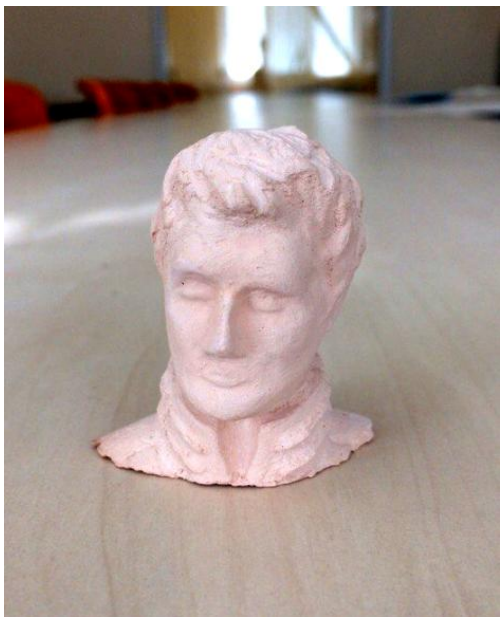


Рис. 2 - Керамическая деталь скульптуры после утильного обжига

Наличие 3D-модели оригинального изделия в производстве имеет ряд преимуществ:

- позволяет производить продукт одного шаблона с изменением размера и применять традиционную сборку керамического изделия по частям;
- гарантирует долговечность прототипа оригинала в пластике;
- наличие информации в электронном виде о художественном изделии играет большую роль в сохранении произведения искусства как культурного наследия;
- появляется возможность печати восковки, что позволяет производить изделия в металле.

Также наличие 3D-принтера на керамическом производстве позволяет выпускать изделия, спроектированные виртуально в программах 3Ds Max, Blender, ZBrush и др. [7].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пиирайнен В.Ю.* Материаловедение художественной обработки: Учебное пособие для вузов. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. – 344 с.
2. Физические основы получения информации: учеб.-метод. комплекс / сост. И.В. Павлов. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2008. – 303 с.
3. Металлы и сплавы (керамика) для художественных изделий: рабочая прогр., метод. указания / сост. В.Н. Барсуков. - СПб.: Изд-во СЗТУ, 2006. – 14 с.
4. *Максаров В.В.* Цифровые информационные технологии в подготовке специалистов для машиностроительных производств / В.В. Максаров, А.И. Кексин // Сборник научных трудов II Всероссийской научной конференции «Современные образовательные технологии в подготовке специалистов для минерально-сырьевого комплекса», 2018, С. 182-188.
5. Станочное и инструментальное обеспечение автоматизированного производства: учеб.-метод. комплекс / сост.: Л.Г. Борисова [и др.]. - СПб.: Изд-во СЗТУ, 2009. - 147 с.
6. *Солнцев Ю.П.* Материаловедение: Учебник для вузов. Изд. 4-е, перераб. и доп. / Ю.П. Солнцев, Е.И. Пряхин. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2007, 784 с.
7. *Пономаренко Г.М.* Практические вопросы компьютерного моделирования / Г.М. Пономаренко, С.М. Глебов, В.Ю. Пирайнен – М.: Литейное производство №8, 2008. – 32 с.

УДК 622.285.4; 624.191.6

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ СПАСАТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Уразбахтин Рустам Юсуфович,
аспирант,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. В качестве объекта исследования выступает спасательный комплекс для проведения скоростных выработок малого сечения, главной задачей которого является эвакуация шахтеров, застигнутых аварией. Целью работы являлось определение силовых и конструктивных параметров гидродомкратов передвижки спасательного комплекса. Теоретически установлено, усилие передвижки спасательного комплекса от массы ее частей, крепости пород, выражающейся в установившемся режиме экспоненциальной зависимостью от времени и шага передвижки, причем теоретическое значение величины коэффициента сопротивления движению спасательного комплекса находится в интервале 0,4–6.

Ключевые слова: спасательный комплекс; шагающая крепь; скорость проходки; коэффициент сопротивления движению

THE RESULTS OF STUDIES OF THE RESCUE COMPLEX UNDER VARIOUS GEOLOGICAL CONDITIONS

Urazbakhtin Rustam Yusufovich,
postgraduate student,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. The object of study is the rescue complex for carrying out high-speed workings of small section, the main task of which is to evacuate the miners caught in the accident. The aim of the work was to determine the power and design parameters of the jacks of the shifter of the rescue complex. It is theoretically established that the effort of shifting the rescue complex from the mass of its parts, the strength of the rocks, expressed in steady state by an exponential dependence on time and step of the shifting, the theoretical value of the coefficient of resistance to movement of the rescue complex being in the range of 0.4-6.

Keywords: rescue complex; walking support; penetration rate; coefficient of resistance to movement

Уголь – важнейший ресурс в энергетическом балансе многих стран

мира, в частности Китая, Индии, США, России [1], но его добыча сопровождается тяжелейшими условиями работы и риском для жизни шахтеров. Меры, предпринимаемые для предотвращения аварийных ситуаций на угольных шахтах, заметно снизили аварийность на угольных шахтах, но задача спасения людей по-прежнему остается актуальной [2-8].

Для шахт актуальным является создание спасательного комплекса, состоящего из быстро сборных узлов облегченного типа, при условии, что скорость проходки эвакуационной выработки спасательным комплексом выше, чем при проведении выработки ручным способом. Использование спасательного комплекса существенно снизит травмоопасные ситуации для горноспасателей, находящихся в зоне риска. Конструкция спасательного комплекса запатентована [9].

Теоритические исследования спасательного комплекса для определения рациональных параметров силового оборудования, при переменной крепости пород в забое, основаны на решении уравнения баланса сил при передвижке нагруженного комплекса [10].

На рис. 1 представлены варианты нагружения спасательного комплекса.

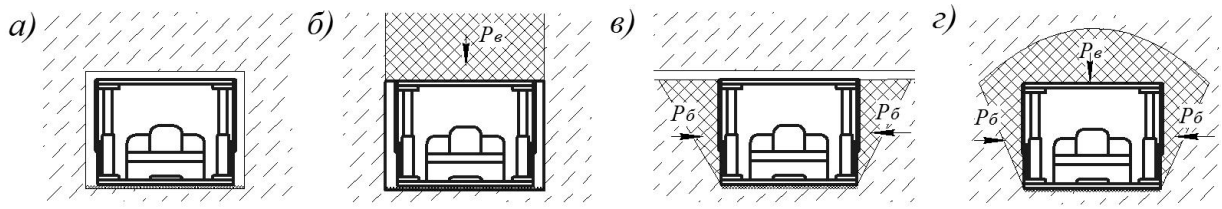


Рис. 1 - Варианты нагружения спасательного комплекса:
а – отсутствие внешних нагрузок на перекрытия комплекса; б – нагружение со стороны кровли выработки; в – нагружение со стороны боков выработки; г – нагружение со стороны кровли и боков выработки

При движении комплекса в установившемся режиме с постоянной скоростью, формула усилия передвижки спасательного комплекса примет вид [11-13]:

$$F_m = G_{шк\,i} \cdot k_{сопр},$$

где $G_{шк\,i}$ – вес головной или концевой частей комплекса; $k_{сопр}$ – коэффициент сопротивления перемещению частей комплекса ($k_{сопр}$ = 0,4 – 6).

Коэффициент сопротивления перемещению спасательного комплекса имеет широкий диапазон варьирования, обусловленный вариантом нагружения комплекса (рис. 1). По результатам теоретических исследований определен интервал значений коэффициента сопротивления перемещению спасательного комплекса:

- при отсутствии внешних нагрузок на перекрытия комплекса ($k_{сопр}$ = 0,4 – 0,6);
- нагружении со стороны кровли выработки ($k_{сопр}$ = 0,5 – 3);
- нагружении со стороны боков выработки ($k_{сопр}$ = 0,4 – 0,85);

– нагружении со стороны кровли и боков выработки ($k_{сопр}$ = 0,5 – 6).

Обоснование выбора гидродомкрата шагающей крепи.

На рис. 2 показана номограмма определения типов гидродомкрата на основе силовых параметров гидроцилиндров в зависимости от коэффициента крепости пород.

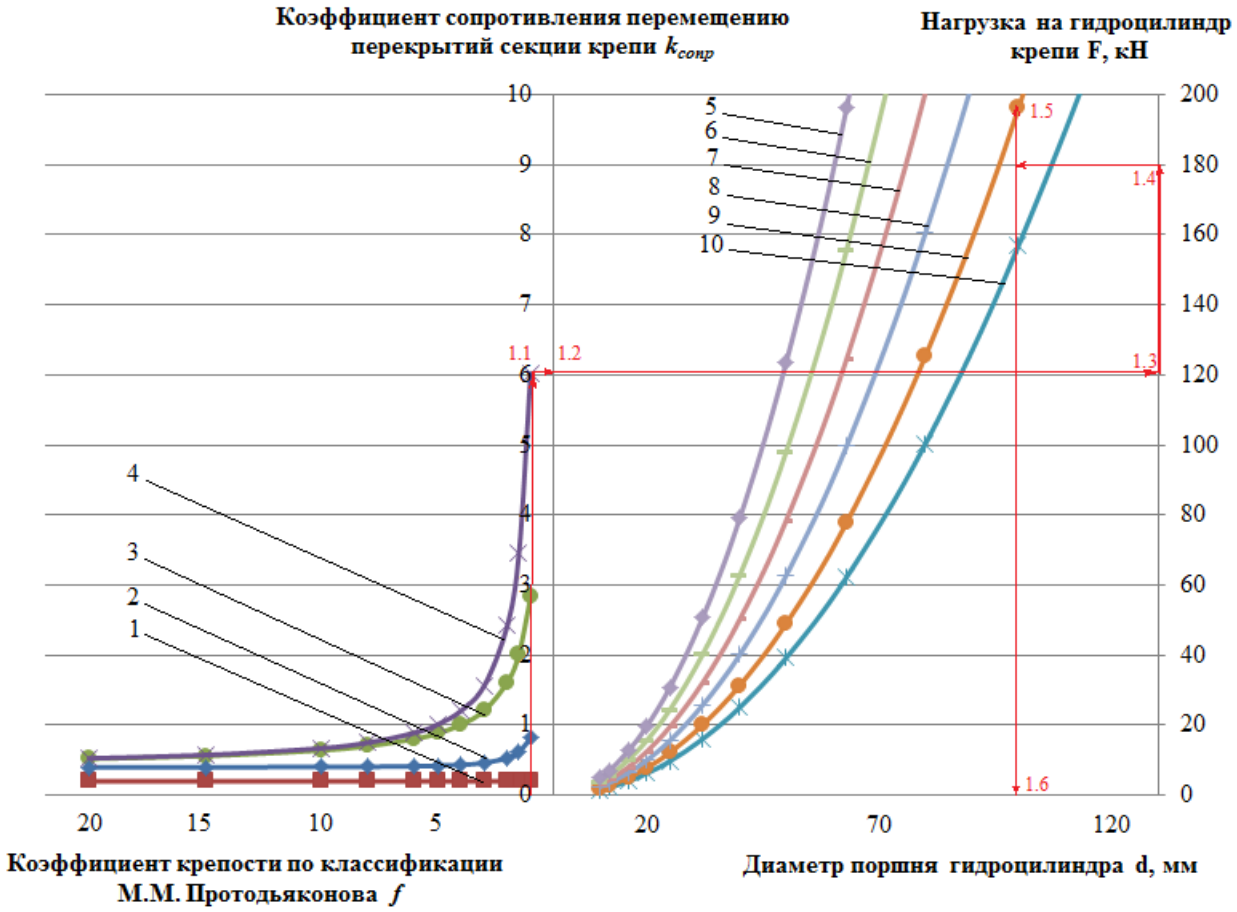


Рис. 2 - Номограмма определения типов гидродомкрата на основе силовых параметров гидроцилиндров в зависимости от коэффициента крепости пород в выработке по шкале М.М. Протодьяконова:

1– график теоретической зависимости коэффициента крепости пород от коэффициента сопротивления перемещению шагающей крепи при отсутствии нагрузки на перекрытия и стенки крепи; 2 – при наличии боковых нагрузок, действующих на боковые стенки крепи со стороны боков выработки; 3 – при наличии вертикальной нагрузки, действующей на перекрытия крепи со стороны кровли выработки; 4 – при наличии вертикальной и боковых нагрузок, действующих на перекрытия, боковые стенки крепи со стороны кровли и боков выработки; 5 – зависимость усилия передвижки от диаметра поршня при давлении в гидравлической сети 63 МПа; 6 – 50 МПа; 7 – 40 МПа; 8 – 32 МПа; 9 – 25 МПа; 10 – 20 МПа

В соответствии с крепостью пород в выработке по шкале М.М. Протодьяконова выбирается наибольшее значение коэффициента сопротивления перемещению шагающей крепи, которое соответствует неблагоприятным горно-геологическим условиям, при которых значения вертикальной и боковых нагрузок, действующих на перекрытия, боковые стенки крепи со стороны кровли и боков выработки максимальны. На основе

этого коэффициента сопротивления перемещению шагающей крепи выбирается гидродомкрат передвижки крепи (с учетом коэффициента запаса), обеспечивающий необходимое усилие передвижки в зависимости от диаметра поршня гидродомкрата и давления в гидравлической сети.

Так, например, при крепости пород в выработке по шкале М.М. Протодьяконова (f = 1) максимальное теоретическое значение коэффициента сопротивления перемещению шагающей крепи ($k_{сопр}$ = 6), которое соответствует неблагоприятным горно-геологическим условиям, при которых значения вертикальной и боковых нагрузок, действующих на перекрытия, боковые стенки крепи со стороны кровли и боков выработки максимальны (точка 1.1,1.2 на рис. 2). При известном значении коэффициента сопротивления крепи определяется необходимое рабочее усилие, развиваемое гидродомкратом передвижки крепи ($F_н$ = 120 кН) (точка 1.3 на рис. 2). Дальнейшее определение усилия передвижки крепи осуществляется с учетом коэффициента запаса ($k_з$ = 3) [14] и количества гидродомкратов (n = 2), обеспечивающих передвижку крепи. Таким образом, усилие гидродомкрата должно быть не меньше 180 кН (точка 1.4 на рис. 2).

В соответствии с параметрическими рядами [15] диаметров поршней гидроцилиндров и номинальных давлений в гидравлической сети значение усилия гидродомкрата передвижки крепи уточняется (точка 1.5 на рис. 2) и составляет (F = 196 кН) при диаметре поршня гидродомкрата (d = 100 мм) (точка 1.6 на рис. 2) и давлении в гидравлической сети (p = 25 МПа).

Выбор гидродомкрата передвижки основывался на наименьших значениях диаметра поршня и давлении в гидравлической сети, тем самым обеспечивался выбор малогабаритных и быстросборных узлов комплекса облегченного типа.

Разработанный спасательный комплекс для проведения эвакуационных работ на угольных шахтах, на предприятиях, осуществляющих подземное строительство различного назначения, позволяет работать со скоростью не менее 18 м/сут для пород с коэффициентом крепости *f* = 6. Это в не менее чем в два раза эффективнее, чем при ручной проходке спасательной сбойки. Оснащение горноспасательных подразделений таким комплексом, позволит снизить время проведения спасательных работ, а также снизит травматизм среди горноспасателей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Писаренко М.В.* Перспективы производства и потребления угля в мире, России и Кузбассе / Уголь Кузбасса, 2013, Т. 5(031), С. 8-12.
2. Годовой отчет по деятельности федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2017 году. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. М., 2018, 420 с.
3. Анализ инженерных решений при спасении людей на шахтах«Западная-Капитальная» ООО «Компания «РОСТОВУГОЛЬ» / С.Г. Пелих, В.В. Родимов, В.Е. Борязяк, В.П. Шаповалов // Горный информационно-

аналитический бюллетень» (научно-технический журнал), 2005, Т. 2, С. 191-193.
4. *Федорин В.А.* Технологические аспекты разработки мощных пологих угольных пластов в сложных горно-геологических условиях Кузбасса / В.А. Федорин, В.Я. Шахматов, Б.А. Анферов // Горный информационно-аналитический бюллетень» (научно-технический журнал), 2013, Т. 11, С. 24-27.
5. *Fiscor S.* Rescuers work to free chilean miners / Engineering and Mining Journal, 2010, Vol. 211(8), С. 24–26.
6. *Kral S.* 2010 Remarkable rescue unfolds / Mining Engineering, Vol. 62(9), С. 96.
7. *Gamez-Montero P.J.* Misalignment effects on the load capacity of a hydraulic cylinder / P.J. Gamez-Montero, E. Salazar, R. Castilla, J. Freire, M. Khamashta, E. Codina // International Journal of Mechanical Sciences, 2009, Vol. 51, С. 105–113.
8. *Yong X.* Design and optimization of a new kind of hydraulic cylinder for mobile robots / X. Yong, J. Yang, J. Shang, H. Xie // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 2015, Vol. 229(18), С. 3459–3472.
9. Патент РФ 2612165. Устройство для проведения спасательных работ / Д.А. Юнгмейстер, Р.Ю. Уразбахтин, Г.В. Соколова; Заявл. 26.04.2016. Опубл. 02.03.2017. Бюл. № 7.
10. Rescue complex for coal mines / D.A. Yungmeyster, R.Yu. Urazbakhtin, 2017, // IOP Conference Series: Earth Environ. Sci., Vol. 87, 092032.
11. *Уразбахтин Р.Ю.* Комплекс для спасательных работ на шахтах при завалах. / Г.И. Коршунов, Д.А. Юнгмейстер, С.А. Лавренко, А.Э. Сабитов, Р.Ю. Уразбахтин // Горное оборудование и электромеханика, 2015, Т. 3, С. 3-8.
12. *Уразбахтин Р.Ю.* Рациональная конструкция комплекса для спасательных работ на шахтах. / Д.А. Юнгмейстер, О.Г. Агошков, Р.Ю. Уразбахтин, А.В. Иванов // Мир транспорта и технологических машин, 2015, Т. 2, С. 56-64.
13. *Уразбахтин Р.Ю.* Обоснование компоновки параметров перфораторов – ударников для исполнительных органов проходческих комбайнов / А.Э. Сабитов, А.И. Исаев, Д.А. Юнгмейстер, Р.Ю. Уразбахтин // Горное оборудование и электромеханика, 2016, Т. 4, С. 17-22.
14. *Воронов Д.Ю.* Гидроцилиндры: учеб.-метод. пособие / Д.Ю. Воронов, В.В. Волосков , А.О. Драчев, О.В. Бойченко. – Тольятти: ТГУ, 2011. – 72 с.
15. ГОСТ 6540-68 (СТ СЭВ 3936-82) Гидроцилиндры и пневмоцилиндры. Ряды основных параметров.

УДК 681.518.5

ОПТИМИЗАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРООБОГРЕВА НЕФТЯНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПОСРЕДСТВОМ ВНЕДРЕНИЯ РАДИОИЗОТОПНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Коптева Александра Владимировна,
канд. техн. наук, доцент,
Ушкова Таисия Олеговна,
группа ЭРС-15-1,
Санкт-Петербургский горный университет, кафедра электроэнергетики и электромеханики

Аннотация. В работе решается актуальные проблемы свойственные работе с высоковязкой парафинистой нефтью. Были предложены, не имеющие аналогов, методики измерения вязкости нефти и выявления парафинизации нефтепроводов. Приведены конфигурация и конкретные параметры разработанной измерительной установки. Оптимизирована система автоматического управления электрообогревом скин-кабелями. Доказана безопасность работы с радиоизотопным методом измерения.

Ключевые слова: нефть; парафиновые отложения; вязкость; радиоизотопная измерительная установка; трубопровод; система автоматического управления; скин-кабель

AUTOMATIC SYSTEM OF ELECTRICAL HEATING OF OIL EQUIPMENT IMPROVEMENT THROUGH THE IMPLEMENTATION OF RADIOISOTOPE MEASURING UNIT

Kopteva Alexandra Vladimirovna,
PhD, associate Professor,
Ushkova Taisiia Olegovna,
group ERS-15-1,
Saint-Petersburg mining university,
department of electric power engineering and electro mechanics

Abstract. The aim of the work is to solve the actual problems inherent in the work with high-viscosity paraffin oil. In the article new methods of paraffin layer identification and oil viscosity measurement presented, which has no analogues. The configuration and specific parameters of the developed measuring unit are given. The system of automatic control of control of electric heating by skin cables

has been optimized. The safety of work with the radioisotope method of measurement is proved.

Keywords: oil; paraffin deposits; viscosity; radioisotope measuring unit; pipeline; automatic control system; skin cable

Для Российской нефтяной промышленности становится всё более свойственной добыча тяжёлой высоковязкой парафинистой нефти, что увеличивает среднюю вязкость нефти по стране [1]. Растёт доля нефтедобывающих скважин и нефтепроводов, расположенных в регионах с отрицательной среднегодовой температурой, где повышен риск образования парафиновых отложений [2]. Как следствие, оборудование, контактирующее с нефтью, всё чаще оснащается средствами по борьбе с вязкостью и предупреждению парафиновых отложений [3, 4].

Одним из наиболее перспективных средств по борьбе с вязкостью и предупреждению парафиновых отложений является электрообогрев скин-кабелями, кроме того одной из компаний-лидеров в производстве данной технологии является российская компания [5]. Принцип работы СКИН-системы основан на применении специальных нагревательных элементов, использующих явление скин-эффекта и эффекта близости в проводниках из ферромагнитных материалов на переменном токе промышленной частоты[6]. Нагревательный элемент представляет собой трубку из низкоуглеродистой стали, внутри которой располагается проводник из немагнитного материала. Проводник в конце плеча обогрева надежно соединяется со стальной трубкой, а в начале плеча между трубкой и проводником подается переменное напряжение. Благодаря скин-эффекту ток протекает по внутренней поверхности трубки скин-нагревателя, а на внешней ее поверхности он практически отсутствует [7]. Отсутствие электрических потенциалов делает систему безопасной для обслуживающего персонала. При протекании тока происходит выделение тепла в обоих проводниках (60-80 % тепла выделяется в стальной трубке и только 20-40 % - в проводнике с медной жилой).

В общем виде система электрообогрева нефтепровода СКИН-проводами состоит из нагревателя, подсистемы электроснабжения и подсистемы управления. В качестве нагревателя используются нагревательные СКИН-кабели, выполняющие в системе функцию регулирующего органа, СКИН-кабели крепятся непосредственно на трубопровод, т.е. объект управления. Аппаратура подсистемы управления включает в себя систему измерительных приборов (отрицательная обратная связь строится на основе датчика температуры), аналогово-цифровой и цифро-аналоговый преобразователи, контроллер, обрабатывающий полученную с датчиков информацию и вырабатывающий воздействия подсистемой электроснабжения (регулирующим органом САУ). Система электропитания выполняется в виде комплектной трансформаторной

подстанции, включающей в себя распределительные ячейки высокой и низкой стороны, специализированный симметрирующий трансформатор [8].

В данный момент управляющее воздействие напряжением в скин-кабелях вырабатывается на основе показаний датчиков температуры, но помимо температуры на процесс парафинообразование влияют также давление в трубопроводе, концентрация высокомолекулярных углеводородов парафинового ряда, величина перепада температур окружающей среды и потока нефти, количество свободного газа в нефтяном потоке, скорость течения, обводненность, компонентный состав нефти (в частности процентное содержание светлых фракций), плотность нефти, на начальных стадиях парафинообразования - свойства поверхности трубопровода, а после образования парафинового слоя - его толщина [9]. И в результате отсутствия прямой зависимости между показаниями датчика температуры и процессом парафинообразования при выработке управляющего воздействия используются коэффициенты запаса до 36%, что делает данный способ снижения вязкости нефти и борьбы с парафиновыми отложениями менее рентабельным и приводит к повышению себестоимости нефти и нефтепродуктов в целом [10].

Для оптимизации применения электрообогрева необходимо применение в составе системы автоматического управления новой измерительной установки, способной детектировать образование парафинового слоя на ранней стадии [11-13]. В разработанной измерительной установке применяется технология ионизирующего излучения, выбор которой был осуществлён на основе сравнительного анализа [14]. Схема измерительной установки представлена на рис. 1.

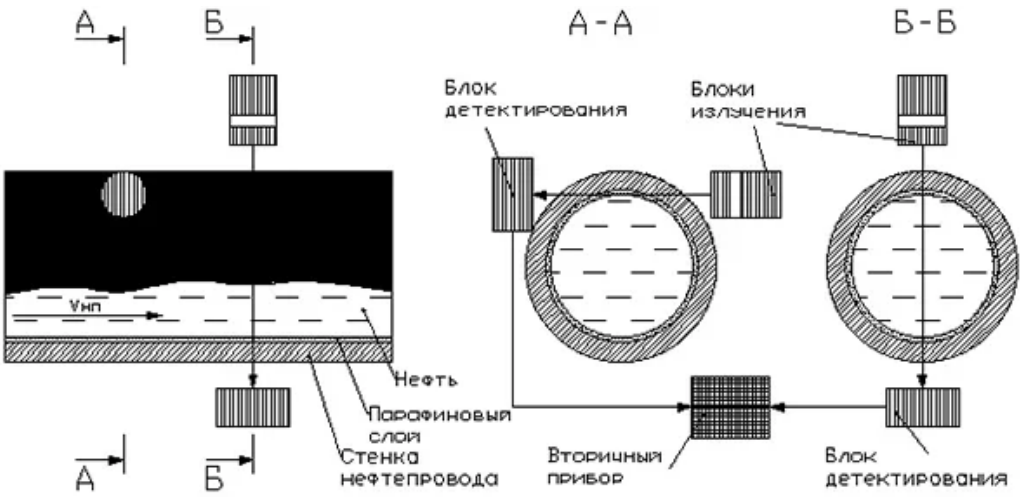


Рис. 1 - Конфигурация радиоизотопной измерительной установки выявления парафинизации

Приведённая измерительная установка способна выявлять на ранних стадиях образование парафинового слоя и прогнозировать его состав. Применение специальных алгоритмов обработки информации также делает возможным определение вязкости нефти с высокой точностью. Такие

возможности измерительной системы создают значительные перспективы для развития множества систем управления.

Внедрение радиоизотопной измерительной установки в систему автоматического управления электрообогревом нефтяного оборудования не только значительно увеличит энергоэффективность транспортировки высоковязкой нефти, что приведёт к снижению экономических потерь, но и сделает её более надёжной, продлит срок службы нефтяного оборудования и снизит количество аварийных разливов нефти при транспортировке [15].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Эдер Л.В.* Нефтяная промышленность Сибирского федерального округа на этапе смены парадигмы развития / Сборник докладов V Международной научной конференции «Институциональная трансформация экономики: пространство и время», 2017, Т. 2, С. 139–145.
2. *Филимонова И.В.* Структурные изменения в нефтедобыче России / Экологический вестник России, 2018, Т. 1, С. 10–17.
3. *Малиновская Г.С.* Анализ современного состояния и эффективности методов борьбы с АСПО на Ванкорском нефтегазовом месторождении: дис. / Сибирский федеральный университет, 2017, 73 с.
4. *Походяев П.В.* Проектирование магистрального нефтепровода в условиях Крайнего Севера: дис. / Сибирский федеральный университет, 2017.
5. *Хасанов И.И.* Обзор современных методов воздействия на реологические свойства тяжелых высоковязких нефтей / И.И. Хасанов, Р.А. Шакиров, А.Ю. Леонтьев, О.Ю. Полетаева // НефтеГазоХимия, 2018, Т. 3, С. 49–54.
6. *Струпинский М.Л.* Проектирование и эксплуатация систем электрического обогрева в нефтегазовой отрасли: справочная книга / М.Л. Струпинский, Н.Н. Хренков, А.Б. Кувалдин. - М.: Инфра-Инженерия, 2015, 272 с.
7. *Hoffmann J. et al.* Safety testing and operational procedures for self-developed radiofrequency coils / NMR in Biomedicine, 2016, Vol. 29 (9), С. 1131-1144.
8. *Чупин В.Р.* Системы промышленного электрообогрева / В.Р. Чупин, И.Ю. Шелехов, В.В. Пожидаев // Роль и местоинформационнх технологий в современной науке, 2017, С. 107–116.
9. *Шатохина А.А.* Моделирование процессов парафинообразования и особенности транспорта высоковязких нефтей / А.А. Шатохина, М.А. Мисюн // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXI Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М.И. Кучина, 2017, Т. 2, С. 767-768.
10. *Федин А.А.* Применение индукционного обогрева технологических трубопроводов / ББК 1 А28, 2018, С. 78–86.
11. *Коптев В.Ю.* Формирование модели структуры нефтяного потока на основе точного определения примесей для управления транспортными системами / В.Ю. Коптев, А.В. Коптева // Экспозиция Нефть Газ, 2016, Т. 3, С. 96–97.

12. *Левашов Д.С.* Особенности градуировки приборов для измерения количества компонентов в многофазных потоках / Записки Горного института, 2009, Т. 182, С. 50-58.
13. *Газин Д.И.* Современные радиоизотопные средства измерения содержания свободного газа в потоках товарной нефти. Датчики и системы / Д.И. Газин, В.А. Кратиров, 2008.
14. *Коптева А.В.* Обоснование безопасности использования радиоизотопного метода контроля нефтяного потока / А.В. Коптева, Т.О. Ушкова // Современная наука и практика, 2017, Т. 8-9 (24), С.21-23.
15. *Коптева А.В.* Многопараметрический мониторинг магистральных нефтепроводов на основе радиоизотопного излучения. Автореферат дис. кандидата технических наук: 05.11.13 / минерально-сырьевой ун-т «Горный». Санкт-Петербург, 2013.

УДК 622.331

ШАГАЮЩАЯ ПЛАТФОРМА ПЛАВУЧЕГО КОМПЛЕКСА ДОБЫЧИ ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ

Фадеев Дмитрий Владимирович,
аспирант,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения,

Аннотация. Интенсификация торфяного производства ставит приоритетной задачей перевооружение торфяной отрасли новым и модернизированным комплексом горного оборудования. Для его размещения необходима шагающая платформа. Дано описание технического решения такой платформы.

Ключевые слова: торф; автономный комплекс; шагающий механизм; свая-якорь

STEPPENDING PLATFORM OF THE MELTING COMPOUND OF PEAT PRODUCTION

Fadeev Dmitry,
postgraduate student,
Saint-Petersburg Mining University
Department of Mechanical Engineering

Abstract. The intensification of peat production makes it a priority to re-equip the peat industry with a new and modernized mining equipment complex. A walking platform is required for its placement. A description of the technical solution of such a platform is given.

Keywords: peat; autonomous complex; walking mechanism; pile-anchor

Торф является возобновляемым органическим природным ресурсом, непрерывно образующимся вследствие отмирания растений болот и низин в водной среде при недостатке кислорода. Запасы торфа в Российской Федерации составляют 175,65 млрд. тонн (40% условной влажности) или 61,3 млрд. тонн условного топлива. В России находится значительная часть мировых запасов торфа. Это огромный запас органики, но использовать его непросто, т.к. основная часть торфа находится в неосушенных болотах, глубина торфяной залежи которых зачастую достигает более шести метров [1, 2, 3].

Область применения торфяного сырья обширна, в первую очередь это энергетическое сырье (крошка, куски, брикеты, гранулы), продукция

сельскохозяйственного назначения (удобрения, торфяные подстилки, субстраты, микропарники, кормовые дрожжи, торфяные горшочки, субстратные торфяные плиты). Также торфяное сырье активно используют в химической промышленности для производства воска, губиновой кислоты, глицерина, спирта, фильтрующих элементов, сорбентов, полимеров, фурфурола, сухого льда и др.); строительстве (строительные торфяные брикеты, торфоблоки, добавки в бетон, фильтрующие и сорбирующие материалы для сбора и утилизации промышленных и ливневых стоков), медицинской и косметической промышленности (лечебные грязи, экстракты, лекарства, бальзамы и др.).

Наиболее современным и перспективным способом по добыче и переработке торфяного сырья является использование автономного модульного комплекса [4, 5, 6, 7, 8] размещаемого на платформе с элементами шагания [9, 10].

Плавучая платформа комплекса, содержит цистерны, состоящие из четырех боковых граней, верхней грани и днища, которые образуют вместе пустотелый корпус. Корпус цистерны имеет многослойную структуру, где оболочки выполнены герметичными. На внешних гранях цистерн имеются герметичные люки. На боковых гранях цистерн установлены специализированные фиксирующие элементы, служащие для соединения в единую платформу. Над цистернами установлена несущая рама каркасного типа, на которой имеется палубный настил для размещения модулей оборудования автономного комплекса для добычи торфа. Также цистерны внешнего периметра оснащены сваями-якорями, с устройствами для установки и извлечения свай. Помимо этого, имеют технологические отверстия, закрытые люками для балластировки продуктами технологической переработки торфяного сырья и средства балластировки.

В отличие от широко используемых на акваториях и поймах рек земснарядов, для добычи торфа и сапропеля [11], перемещения по заболоченным месторождениям с использованием винта небезопасно, кроме того, земснаряд практически невозможно доставить на месторождение, в отличие от платформы.

В исходном положении плавучая платформа зафиксирована на поверхности сваями-якорями заглубленными в дно. Цистерны внешнего периметра максимально сближены, телескопические корпуса полусцепок находятся во вдвинутом состоянии. Для шагового перемещения плавучей платформы сваи-якоря устройствами для установки и извлечения свай извлекают из дна, освобождая весь ряд цистерн внешнего периметра со стороны предполагаемого направления перемещения плавучей платформы. Затем линейными двигателями фиксирующих элементов сцепок перемещают весь ряд цистерн внешнего периметра на шаг перемещения. Заданное направление перемещения обеспечивается одновременным перемещением крайнего ряда цистерн с закрепленными на их верхних гранях линейных и угловых направляющих и неизменным положением внешних стоек несущей рамы, установленных в пазах этих направляющих. По завершении шага,

величина которого обусловлена заданным ходом телескопических линейных двигателей фиксирующих элементов сцепок, выдвинутый ряд понтонов фиксируется устройствами для установки и извлечения свай в дно. Сваи-якоря плавучей платформы, фиксировавшие ее в процессе шагания извлекаются, а линейные двигатели, относящиеся к фиксирующим элементам сцепок выдвинутого ряда переключают на реверс, что обеспечивает подтягивание плавучей платформы к выдвинутому ряду цистерн внешнего периметра. В новой точке стояния плавучая платформа фиксируется установкой всех свай-якорей, возвращаясь в исходное положение. При необходимости процесс шагания повторяется в любом из возможных направлений движения и потребной величиной шага.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Тимофеева С.С.* Перспективы использования торфа в региональной энергетике / С.С. Тимофеева, Г.Р. Мингалеева // Сборник материалов Всероссийского торфяного форума, 2014, Т. 4, С. 46-55.
2. *Михайлов А.В.* Формирование и эффективное использование машинного парка торфодобывающих компаний / А.В. Михайлов, С.Л. Иванов, В.В. Габов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета Геология. Нефтегазовое и горное дело, 2015, Т. 14, С. 82-91.
3. Направления создания универсальных технологических торфяных машин / А.В. Михайлов [и др.] // Успехи современной науки и образования, 2017, Т. 1(1), С. 69-73.
4. Пат. 2684269 Российская Федерация, МПК E21C 49/02 Способ добычи торфа и устройство для его реализации / С.Л. Иванов, И.П. Тимофеев, Е.А. Родионов, М.С. Столярова, заявитель Санкт-Петербургский горный университет - 2018123253, 26.06.2018, опубл. 04.04.2019 Бюл. № 10.
5. *Khudyakova I.N.* Raw peat production and processing from flooded fields and approaches to maintain dehydration / I.N. Khudyakova, E.A. Vagapova, S.L. Ivanov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 194, 032010.
6. *Худякова И.Н.* Формирование структуры основного технологического оборудования автономного комплекса для добычи торфа из неосушенного месторождения / И.Н. Худякова [и др.] // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ», 2017, Т. 9(3).
7. Пат. 2651721 Российская Федерация, МПК C10F 7/02 Технологический модуль первичной переработки / А.А. Коконков, Д.Д. Северикова, С.Л. Иванов, заявитель Санкт-Петербургский горный университет - 2017122661, 27.06.2017, опубл. 23.04.2018 Бюл. № 12.
8. Пат. 2672366 Российская Федерация, МПК E04H 6/02; B63B 17/02; E04F 10/10; E04H 15/48 ТРАНСФОРМИРУЕМОЕ СООРУЖЕНИЕ / И.Н. Худякова, Д.В. Фадеев, Э.А. Вагапова, С.Л. Иванов, заявитель Санкт-Петербургский горный университет - 2018104765, 07.02.2018, опубл. 14.11.2018 Бюл. № 32.

9. Пат. 2655235 Российская Федерация, МПК B63B 35/44, B63H 19/08, B63B 35/34, B63B 3/08, E21C 49/00 Плавучая платформа / Д.В. Фадеев, И.Н. Худякова, И.Е. Звонарев, С.Л. Иванов, заявитель Санкт-Петербургский горный университет - 2017116467, 11.05.2017, опубл. 24.05.2018 Бюл. № 15.
10. *Kokonkov A.A.* Autonomous complex module for peat development on watered deposits / A.A. Kokonkov, D.D. Liakh, S.L. Ivanov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 194, 032011.
11. *Бессонов Е.А.* Энциклопедия гидромеханизированных работ. Словарь-справочник. - М.: 1989 ру, 2005. – 520 с.

УДК 622.53.001

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ПОЛЕВОЙ СУШКИ ОКУСКОВАННОЙ ПРОДУКЦИИ

Федоров Александр Сергеевич,
аспирант,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. В статье рассмотрен способ повышения эффективности процесса сушки окускованной торфяной продукции при использовании торфяного куска трубчатой формы. Рассмотрены варианты расположения окускованной торфяной продукции относительно поверхности торфяной залежи для интенсификации сушки.

Ключевые слова: торфяное сырьё; торфяной кусок; трубчатая форма; интенсификация сушки; сушка

ANALYSIS OF THE CONDITIONS OF FIELD DRYING OF SOD PEAT PRODUCT

Fedorov Alexander,
postgraduate student,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. The article describes a method to increase the efficiency of the drying process of agaric peat products using a peat tubular shape. The variants of the location of agglomerated peat products relative to the surface of the peat deposit for intensification of drying are considered.

Keywords: peat raw material; peat piece; tubular form; intensification of drying; dry

Окускованная торфяная продукция в полевых условиях производится экскаваторным или фрезформовочным способом [1-8]. Эффективность сушки окускованной продукции в полевых условиях зависит от размеров и формы куска, от интенсивности использования солнечной энергии и от вариантов расположения окускованной торфяной продукции относительно поверхности торфяной залежи.

Расположение окускованной торфяной продукции при сушке в полевых условиях производится как многослойным, так и однослойным расстилами [9].

Для интенсификации сушки рассматриваются варианты расположения торфяного сырья на подогреваемом асфальте или на сетках [10].

Известно [11], что при сушке окускованного торфяного сырья в отрыве от влажной поверхности торфяного поля, на сетках, сезонные сборы готовой увеличиваются до 10 раз, по сравнению с сушкой на влажной поверхности поля.

При использовании сушильных сеток, сформованные куски укладываются на сетки на высоте 0,5 м от поверхности поля в наброс или лентами.

При загрузке поверхности сеток в наброс отсутствует явление застоя дождевой воды на расстиле, увеличивается удельная поверхность испарения влаги при малой поверхности контакта кусков с сеткой, что позволяет повысить загрузки сеток в 1,3 раза без увеличения продолжительности сушки.

На сетках окускованная торфяная продукция сохнет до первого критического влагосодержания, т.е. до начала процесса трещинообразования. По экспериментальным данным продолжительность сушки кусков диаметром 0,1 м длится в среднем от 7 до 8 дней [12].

В настоящее время окускованная торфяная продукция выпускается в сферической, цилиндрической форме и форме параллелепипеда [13].

В случае исполнения торфяного куска в виде полого толстостенного цилиндра увеличится площадь поверхности испарения.

При вертикальном расположении трубчатого куска увеличится площадь конвективного теплоподвода под воздействием воздушных масс.

Продолжительность сушки подобных кусков может быть сокращена до 4-5 дней. Вертикальная укладка трубчатых кусков позволяет увеличить загрузку площади поля окускованной торфяной продукцией.

Таким образом, вертикальное расположение кусков трубчатой формы на сетках, поднятых на 0,5 метров от поверхности залежи, позволяет повысить интенсивность сушки с максимальным использованием баланса солнечной и ветровой энергии [14, 15].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Михайлов А.В.* Перспективы развития новых технологий добычи торфа / А.В. Михайлов, Э.А. Кремчеев, А.В. Большунов, Д.О. Нагорнов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2010, Т. 9, С. 189-194.

2. *Михайлов А.В.* Требования к торфяному сырью для производства окускованного топлива / А.В. Михайлов, А.В. Большунов, Э.А. Кремчеев, К.В. Епифанцев // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2012, Т. 4, С. 59-63.

3. *Михайлов А.В.* Формирование и эффективное использование машинного парка торфодобывающих компаний / А.В. Михайлов, С.Л. Иванов,

В.В. Габов // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело, 2015, Т. 14, С. 82-91.
4. *Mikhailov A.V.* Excavating and loading equipment for peat mining / A.V. Mikhailov et al // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017S, Vol. 87, 022014.
5. *Михайлов А.В.* Состояние технического перевооружения машинно-тракторного парка торфодобывающих компаний / А.В. Михайлов, С.Л. Иванов, Ю.Ю. Бондарев // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, 2014, Т. 3(202), С. 229-235.
6. *Солопов С.Г.* Торфяные машины и комплексы / С.Г. Солопов, Л.О. Горцакалян, Л.Н. Самсонов, В.И. Цветков. – М.: Недра, 1981. – 416 с.
7. *Афанасьев А.Е.* Технология и комплексная механизация разработки торфяных месторождений: учебное пособие для вузов / А.Е. Афанасьев, Л.М. Малков, В.И. Смирнов [и др.]. - М.: Недра, 1987. - 311 с.
8. *Mikhailov A.V.* Excavating and loading equipment for peat mining / A.V. Mikhailov, A.I. Zhigulskaya // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 87(2), С. 14-20.
9. *Михайлов А.В.* Торфяные ресурсы Северо-западного федерального округа России и перспективы их освоения / А.В. Михайлов, С.Л. Иванов, А.В. Большунов, Э.А. Кремчеев // Записки Горного института, 2013, Т. 2, С. 226-230.
10. *Leinonen A.* Development of new sod peat production technology in Finland / Proceedings of the 14th International Peat Congress, Jyvaskyla, Finland, 2012, Extended abstract No. 155, С. 1-5.
11. *Зюзин Б.Ф.* Основные показатели технологии добычи кускового торфа с сушкой на сетках / Б.Ф. Зюзин, О.В. Шамбер // Труды Инсторфа, 2016, Т. 13(66), С. 33-39.
12. *Мисников О.С.* Технология и комплексная механизация открытых горных работ. Добыча кускового торфа и сапропеля: учебное пособие / О.С. Мисников, В.А. Беляков, О.В. Шамбер. 1-е изд. - Тверь: ТГТУ, 2008. - 160 с.
13. *Костюк Н.С.* Производство мелкокускового торфа / Н.С. Костюк, Ф.С. Яцевич, Под. ред. И.И. Лиштвана. - Мн.: Наука и техника, 1975. - 136 с.
14. *Mikhailov A.* Peat surface mining methods and equipment selection / Mine Planning and Equipment Selection. Proceedings of the 22nd MPES Conference, Dresden, Germany, 14th – 19th October 2013. Drebenstedt, Carsten, Singhal, Raj (Eds.), 2014, XXVII, Volum 2, С. 1243-1249.
15. *Mikhailov A.V.* Mechanization of extraction of peat from undrained deposit / A.V. Mikhailov, E.A. Kremcheev, D.O. Nagornov // Journal of Mining Institute, 2012, Vol. 196[S.1], С. 256-260.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛЕНОЧНЫХ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ОБОГРЕВА ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

Федоткина Анастасия Николаевна,
группа ТЭ- 15,
Санкт-Петербургский горный
университет

Аннотация. На сегодняшний день в нашей стране и за рубежом добывается значительное количество нефти, обладающей высокой вязкостью или содержанием большого количества парафина, поэтому при понижении температуры до минусовых отметок нефть в трубопроводе застывает. Вследствие чего возникает актуальная проблема бесперебойного транспортирования нефти по трубопроводу. В настоящее время один из самых эффективных способов снижения вязкости нефти — это её подогрев. При подогреве нефти улучшаются её реологические свойства, снижается вязкость, благодаря чему становится легче транспортировать её по трубопроводу.

Ключевые слова: нефть; пленочный обогреватель; подогрев; перекачка; карбоновая нить; вязкость; температура; электрическая мощность

Fedotkina Alexandra Nikolaevna,
group TE-17,
Saint-Petersburg Mining University

USE OF FILM HEAT PRODUCTS OF ELEMENTS FOR HEATING PIPELINE SYSTEMS

Abstract. Today, in our country and abroad, a significant amount of oil is produced, which has a high viscosity or a high content of paraffin, so when the temperature drops to minus marks, the oil in the pipeline freezes. As a result, the actual problem of uninterrupted transportation of oil through the pipeline arises. Currently, one of the most effective ways to reduce the viscosity of oil is to heat it. When heated oil improves its rheological properties, decreases viscosity, making it easier to transport it through the pipeline.

Keywords: oil; film heater; heating; transfer; carbon thread; viscosity; temperature; electric power

На сегодняшний день в нашей стране и за рубежом добывается значительное количество нефти, обладающей высокой вязкостью при обычном температурном режиме или содержащей большое количество парафина (до 25%), и, вследствие этого, при понижении температуры до

минусовых отметок происходит увеличение вязкости, что приводит к застыванию углеводорода. В связи с этим возникает актуальная проблема бесперебойного транспортирования нефти по трубопроводу и увеличение затрат на перекачку сырья.

В этом случае перекачка нефти по трубопроводу традиционным методом затруднена и для осуществления трубопроводного транспорта высоковязких и высокозастываюших нефтей применяют следующие способы: перекачка нефти с разбавителями, с присадками, предварительно подогретой и др. В настоящее время один из самых эффективных способов снижения вязкости нефти — это её подогрев. При подогреве нефти улучшаются её реологические свойства (свойства жидкостей, которые характеризуются их текучестью), снижается вязкость, благодаря чему становится легче транспортировать её по трубопроводу. На первом этапе подогрев нефти осуществляется в устье скважины, так как в этом месте она максимально густая, поэтому происходит нагрев сырья до 50°С. На втором этапе, на установке по подготовке нефть подогревается до 70°С. Далее, в процессе деэмульсации, она нагревается до 85°С.

По мере движения нефти по магистральному трубопроводу за счет теплообмена с окружающеий средой температура ее снижается и она остывает, поэтому температура нефтепродукта должна поддерживаться по всему периметру магистрали. Следовательно, на трассе трубопровода через каждые 25–100 км устанавливаются пункты ее подогрева.

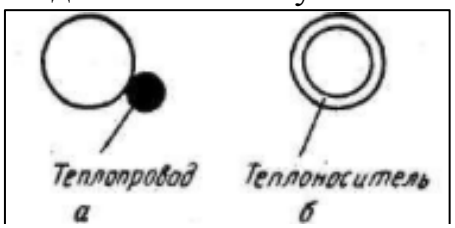


Рис. 1 - Виды подогрева трубопровода

В зависимости от местонахождения источника тепла различают внешний подогрев, когда теплоноситель расположен снаружи нефтепровода, и внутренний подогрев, когда тепло передается нефтепродукту теплоносителем, расположенным внутри нефтепровода (рис. 1).

Внешний подогрев заключается в том, что теплоноситель транспортируется по трубопроводу, уложенному параллельно нефтепроводу. Оба трубопровода заключены в общий теплоизолирующий кожух. По этой схеме преимущественно подогреваются наземные трубопроводы.

А внутренний подогрев, предусматривает укладку нефтепровода внутри теплопровода.

Промышленный обогрев магистральных нефтепроводов выполняет так, чтобы в результате были достигнуты следующие цели:

- Снижение теплопотери рабочей жидкости, передаваемой в системе.
- Температура теплоносителя должна поддерживаться в заданном диапазоне температур.
- Поддержание оптимального уровня вязкости для перекачки.
- Исключено промерзание участков трубопровода.
- Возможность укладки выше уровня промерзания для сокращения цены и сроков монтажных работ.

- Экономическая выгода за счет сокращение расходов на восстановительные и ремонтные работы, а также за счет уменьшение затрат на техническое оборудование.

Проблема замерзания труб причиняла неудобство долгие века, в России наиболее остро стояла проблема перекачки нефтепродуктов и их защита от чрезмерного загустения и замерзания, поддержание температуры на заданном уровне, но в XX веке к ее решению подошли комплексно. В производство внедрили различные методы подогрева трубопровода, одной из первых эффективных методик стало использование пароспутников.

Пароспутники — это системы обогрева трубопровода от промерзания с помощью пара. Они конструктивно сложны и включают в состав такие сложные элементы, как комплектный паровой коллектор с запорной арматурой и конденсатоотводчиком, прерыватели вакуума, сбросные и обратные клапаны, манометры и т.д. Вместе с проектированием самого трубопровода для перекачки конкретного носителя необходимо сразу же осуществлять проектировку пароспутника. Эта система достаточно сложная, требуется установка большого количества конденсатоотводчиков. Задача усложняется, если трубопровод сильно разветвлен, возникает проблема унификации, сложности контроля и обслуживания.

К недостаткам метода следует отнести большие экономические затраты на монтажные работы, использование специализированного оборудования, сложный монтаж и обслуживание, так как пароспутник имеет сложную техническую составляющую.

Для решения данных проблем разработаны и рекомендуется к использованию электрообогрев магистральных трубопроводов, например, с помощью СКИН-системы типа ИРСН.

В этой системе для обогрева трубопровода используется скин-эффект, характеризующийся затуханием электромагнитных волн в глубине проводящей среды.

Нагревательный элемент скин - системы состоит из индукционно-резистивного нагревателя (ИР-нагревателя) диаметром 15–60 мм и проложенного в ней изолированного индукционно-резистивного проводника (ИР-проводника) из меди или алюминия сечением 8–40 мм^2.

Индукционно-резистивная система нагрева ИРСН или скин-система предназначена для поддержания температуры продукта, защиты от замерзания и стартового разогрева магистральных трубопроводов большой длины. Система допускает надземную, подземную, подводную прокладку, в том числе и во взрывоопасных зонах.

Но, на ряду с такими преимуществами, данная методика обогрева труб имеет существенные недостатки в виде низкой электробезопасности (особенно при использовании резистивных кабелей) и высокий расход электроэнергии.

Несмотря на современные способы подогрева магистральных трубопроводов и повышение качества технического состояния оборудования, все же остаются проблемы с энергоэффективностью применения всех

вышеперечисленных методов подогрева, поэтому целью исследования стало применение пленочного обогрева труб с использованием инфракрасных обогревателей. Такая система позволяет равномерно и мягко прогреть поверхность трубопровода любой длины, при этом нет опасности расплава даже для пластика и других полимеров.

Известно, что пленочный обогреватель — это гибкий греющий сегмент, внутри которого расположен пленочный нагреватель. Он заключен в эластичный кожух, наружу выведены провода для запитывания от обычной электропроводки.

Рис. 2 - Пленочный обогреватель

Активным элементом является пленочный нагреватель, представляющий собой гибкую теплоизлучающую сэндвич-ленту (рис. 2). Она состоит из нескольких слоев пленки (отсюда и название), между которыми находятся металлические нити — это резистивный греющий слой, а также алюминиевая фольга. Так как все компоненты имеют минимальную толщину, толщина самой ленты не более 1,5 мм.

Гибкий кожух также тонкий, поэтому весь обогреватель имеет толщину от 10 до 20 мм. В разработке есть конструкции разной длины и диаметра. Производство, которое занимается изготовлением пленочных нагревателей, поставляет продукцию диаметром от 50 до 200 мм, но возможны и более крупные модификации. Длина — 700 мм.

Пленочный обогрев труб осуществляется при температуре до +70 градусов. В конструкцию должен быть включен регулятор температуры, чтобы пользователь имел возможность самостоятельно изменять степень прогрева и экономить электроэнергию.

Независимо от производителя любая инфракрасная пленка состоит из трех компонентов:

- греющего элемента, преобразовывающего электроэнергию в тепловую, карбоновая нить;
- фольги, благодаря которой тепло с одинаковой силой распределяется по всей поверхности;
- двустороннего ламинирования пленкой, выполняющей функции изолирования и защиты от механических воздействий.

Обогрев начинается после того, как подали ток на нагреватель. Проходя через греющиеся компоненты, ток преобразовывается в тепловую энергию, которая контактным методом от излучателя передается двусторонней пленке, и её обе стороны начинают излучать тепловые волны. Таким образом, источником излучения является именно инфракрасная пленка, а не фольга или нагревательные элементы.

Пленочный нагреватель для обогрева труб имеет следующие характеристики:

- Максимальная мощность 400 Вт/м2.;
- Питание 220В 50Гц;

- Максимально система прогревается до 70°С;
- Длина сегмента составляет 700 мм.
- Цена одного сегмента от 1400 руб/шт., Размер: длина – 700мм, Ø от 169 мм.

Рис. 3 - Технические характеристики нефтепровода Шаим – Тюмень

Для осуществления подсчета затрат данной системы, необходимо было выбрать действующий нефтепровод, к которому можно применить пленочную систему подогрева. Выбор пал на нефтепровод Шаим – Тюмень АО «Транснефть – Сибирь» (рис. 3).

Для данного трубопровода был подобран насос марка НМ1250 – 260 и построена диаграмма влияния температуры окружающей среды на количество затраченной электрической энергии, в результате которой видно, что при увеличении окружающей среды расход электрической мощности уменьшается (рис. 4) и выполняется следующее условие:

$$N_{эл} > N_{нагр},$$

при подсчёте данных формул:

$$N_{эл} = K\frac{QH\rho}{102\eta_н\eta_п} = 1{,}1\frac{1250*260*864}{102*0{,}80*0{,}98} = 3436{,}67 \text{ Вт},$$

$$N_{нагр} = N_{неф} + N_{пот} = 1077 \text{ Вт}.$$

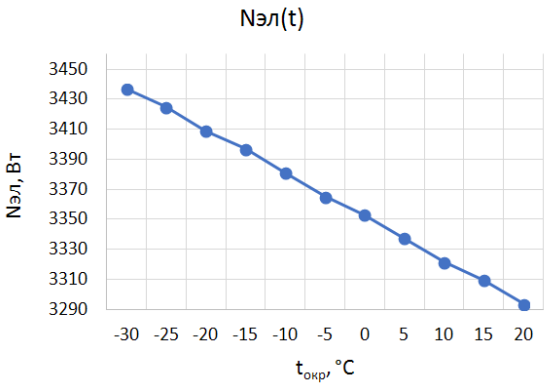


Рис. 4 - Влияние температуры окружающей среды на электрическую мощности

Эффективность использования пленочных нагревателей состоит в следующем:
- равномерный подвод тепла по всей обогреваемой площади;
- высокая экономичность.

Тепловой поток направлен в сторону обогреваемой поверхности. Не греется окружающее пространство;
- мягкий нагрев в интервале до 70°С;
- пленочный обогреватель для прогрева труб по сравнению с применяемыми в строительстве греющими кабелями в пересчете на 1м^2 обогреваемой поверхности дешевле;
- пленочный нагреватель может применяться там, где применение других систем обогрева не возможно, например для обогрева пластиковых труб.

Выводы:

1. В статье проанализированы различные методы (пароспутники, электрический обогрев) обогрева нефтепровода при транспортировке по ним высоковязкой (тяжелой) нефти. Показаны их преимущества и недостатки.

2. В качестве альтернативного источника обогрева предложен инновационный метод обогрева магистральных трубопроводов с помощью пленочных инфракрасных нагревателей, которые имеют ряд преимуществ перед другими методиками обогрева нефтепровода.

Предлагаемый новый вариант подогрева трубопровода дает равномерный подвод тепла по всей обогреваемой площади, что лучше влияет на бесперебойное транспортирование сырья.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трубопроводный транспорт нефти в сложных условиях эксплуатации / В.Д. Черняев [и др.]. - М.: Недра, 1990. - 232 с.
2. Эксплуатационная надежность магистральных нефтепроводов / В.Д. Черняев, Э.М. Ясин, В.Х. Галюк, И И. Райхер. - М.: Недра, 1992. - 271 с.

УДК 621.923.6

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Филипенко Ирина Анатольевна,
аспирант,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. В статье рассмотрены параметры, необходимые для реализации процесса магнитно-абразивной обработки в условиях числового программного управления. Приведены результаты экспериментов.

Ключевые слова: числовое программное управление; магнитно-абразивная обработка

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF MAGNETIC-ABRASIVE PROCESSING OF FIGURINE PRODUCTS

Filipenko Irina,
postgraduate student,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. The article describes the parameters necessary for the implementation of the process of magnetic abrasive treatment in numerical control. The results of the experiments are presented.

Keywords: computer numerical control; magnetic-abrasive processing

Развитие современного машиностроения невозможно представить без внедрения цифровых технологий. Ключевое влияние современные информационные технологии оказали на процессы обработки и изготовления изделий: для осуществления и контроля процесса резания применяется числовое программное управление (ЧПУ) [1]. Внедрение ЧПУ на промышленные объекты машиностроительного комплекса позволило достичь автоматизации производств, обеспечить значительное повышение качества обработки сложнопрофильных изделий, а также увеличить производительность процесса, за счет реализации автоматического процесса обработки [2].

При изготовлении машиностроительных изделий особое место занимают финишные способы обработки, которые предназначены для формирования окончательного поверхностного слоя детали [3-5]. Одним из

перспективных способов финишных операций является магнитно-абразивная обработка (МАО), которую, в соответствии с современным развитием машиностроительного производства, желательно реализовывать в условиях цифровых информационных технологий, в частности в условиях систем с ЧПУ.

Для успешной реализации МАО в условиях ЧПУ необходимо особое внимание уделить определению оптимальных сочетаний рабочих движений заготовки в межполюсном пространстве магнитной системы, участвующих в обработке, а также их скоростей. Главным показателем успешной реализации МАО является ее эффективность, определяемая производительностью обработки и шероховатостью поверхности заготовки после обработки [6].

Таким образом, следует осуществить несколько поставленных задач. Первой задачей является определение сочетания участвующих в процессе МАО рабочих движений обрабатываемой заготовки в межполюсном пространстве магнитной системы. Для определения оптимальных скоростей рабочих движений обрабатываемой заготовки следует провести ряд экспериментов, в ходе которых выявить влияние изменения данных скоростей на получаемую шероховатость поверхности и производительность процесса МАО.

Для проведения исследования была выбрана задача, поставленная в работе [4].В качестве экспериментальных образцов были выбраны цилиндрические заготовки из стали Р6М5 твердостью HRC 62...64 и шероховатостью поверхностного слоя *Ra* = 0,6 мкм, предварительно подвергнутые термической и механической обработке. Обработка производилась при следующих постоянных режимных параметрах процесса: магнитная индукция B = 1,0 Тл; рабочий зазор δ = 1 мм; магнитно-абразивный порошок Fe–TiC с зернистостью Δ = 100/60 мкм. Исследуемыми, а, следовательно, и варьируемыми параметрами обработки были частота вращения и скорость подачи заготовки в межполюсном пространстве установки, которые изменялись в диапазоне n = 200…800 мин$^{-1}$ и S = 50…200 мм/мин.

Контролирование шероховатости поверхности образцов по параметру *Ra* осуществлялось при помощи профилометра Surftest SJ-210 Серия 178. Для достоверности результатов снятие показателей с прибора производилось по 15 раз, после чего высчитывалось среднее значение.

Как отмечалось ранее, для успешного осуществления эффективного процесса МАО первоначально необходимо определить оптимальное сочетание рабочих движений для данного вида обработки. Всего при МАО могут быть использованы четыре вида рабочих движений: главное движение, определяющее скорость резания; осциллирующее движение, позволяющее получить на обработанной поверхности сетку рисок и интенсифицировать самозатачивание порошковой массы; движение подачи, гарантирующее равномерный подпор порошка к обрабатываемой поверхности и активное его перемешивание; дополнительные движения [6].

Авторы [6, 7] уделяли особое внимание данному вопросу. В своих

исследованиях авторы задействовали для изучения различные сочетания рабочих движений (от сочетания трех различных движений до применения лишь одного) и определяли влияние их компоновки на обрабатываемую поверхность. В результате проведенных исследований установлено, что наибольшая производительность и наименьшая шероховатость поверхностного слоя получаются при сочетании трех движений: вращение вокруг оси заготовки V_p, круговой ее подачи по рабочей зоне V_n и осцилляции в вертикальной плоскости V_o. Что касается сочетания двух движений, то наиболее эффективным является сочетание $V_p + V_n$, а из единичных – вращение заготовки вокруг собственной оси.

В условиях поставленной задачи обработки сложнопрофильных поверхностей одним из ключевых требований является обеспечение качественных показателей на каждом рабочем участке, для чего необходимо уменьшить магнитно-абразивное воздействие на переходных зонах рабочих участков изделия [8, 11]. Для этого в процессе МАО необходимо исключить осциллирующее движение заготовки, увеличивающее обрабатываемую длину. Таким образом, для успешного решения поставленной задачи следует применить сочетание двух движений $V_p + V_n$.

По результатам проведенного эксперимента подтверждается, что для эффективного осуществления МАО необходим выбор оптимального диапазона скоростей. Это подтверждено теми результатами, что в диапазоне скоростей подач от 50 мм/мин до 90 мм/мин предпочтительнее остановиться на числе оборотов n = 600 мин$^{-1}$, но при диапазоне скоростей подач от 120 мм/мин до 200 мм/мин предпочтительнее принять частоту вращения n = 400 мин$^{-1}$. После проведенного анализа зависимостей влияния скоростей рабочих органов станка на шероховатость поверхностного слоя и производительность обработки при МАО заготовок из быстрорежущей стали можно заключить, что одно из самых наименьших значений шероховатости получается при частоте вращения n = 475 мин$^{-1}$ и скорости подачи заготовки S = 120 мм/мин вдоль полюсных наконечников [14, 15, 16].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Maksarov V.V.* The formation of surface roughness of piston rings for the purpose of improving the adhesion of wear-resistant coatings / V.V. Maksarov, V.A. Krasnyy // Key Engineering Materials, 2017, Vol. 736(6), C. 73-78.

2. *Максаров В.В.* Технологическое обеспечение шероховатости поверхностного слоя на основе моделирования переходных процессов / В.В. Максаров, А.Е. Ефимов, Р.В. Вьюшин // Металлообработка, 2017, Т. 2(98), С. 39-45.

3. *Zlotnikov E.G.* Modeling and calculation of load on cutting inserts of disk milling cutters in software environment of Autodesk Inventor / E.G. Zlotnikov, A.D. Khalimonenko, D.Y. Kazakov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 194, 22048.

4. *Максаров В.В.* Технологическое повышение качества сложнопрофильных поверхностей методом магнитно-абразивного полирования / В.В. Максаров, А.И. Кексин // Металлообработка, 2017, Т. 1(97), С. 47-57.
5. *Максаров В.В.* Повышение эффективности технологического процесса изготовления внутренних резьб в изделиях горных машин / В.В. Максаров, А.И. Кексин А.И., С.А. Ткаченко / Металлообработка, 2016, Т. 2(92), С. 27-34.
6. *Сакулевич Ф.Ю.* Основы магнитно-абразивной обработки. - Мн.: Наука и техника, 1981. - 328 с.
7. *Ящерицын П.И.* Алмазно-абразивная обработка и упрочнение изделий в магнитном поле / П.И. Ящерицын, М.Т. Забавский, Л.М. Кожуро, Л.М. Акулович. - Мн.: Наука и техника, 1988. - 272 с.
8. *Maksarov V.V.* Technology of magnetic-abrasive finishing of geometrically-complex products / V.V. Maksarov, A.I. Keksin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, Vol. 327(4), 042068.
9. *Efimov A.E.* Technological quality assurance of hydraulic cylinder stock manufacturing based on high-energy impact on product surface / A.E. Efimov, V.V. Maksarov, A.I. Keksin // Advances in engineering research, 2018, Vol. 177(1), С. 321-327.
10. *Максаров В.В.* Технологическое обеспечение шероховатости резьбовых поверхностей посредством предварительного магнитно-абразивного полирования метчика / В.В. Максаров, А.И. Кексин // Металлобработка, 2018, Т. 2, С. 35-40.
11. *Baron Y.M.* Characterization of the Magnetic Abrasive Finishing Method and Its Application to Deburring / Y.M. Baron, S.-L. Ko, J.I. Park // Key Engineering Materials, 2005, Vol. 291-292, С. 291-296.
12. *Krasnyy V.A.* Application of seals made of directed reinforced polymeric composite materials to improve wear resistance of friction units of oil well pumps / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018, Vol. 194, С. 1-7.
13. *Скворчевский Н.Я.* Эффективность магнитно-абразивной обработки / Н.Я. Скворчевский [и др.]. - Минск.: Наука и техника, 1991. - 214 с.
14. *Olt J.J.* Internal thread cutting process improvement based on cutting tools treatment by composite powders in a magnetic field / J.J.Olt, V.V. Maksarov, A. I. Keksin / Journal of Silicate Based and Composite Materials, 2018, Vol. 70(4), С. 128-131.
15. *Максаров В.В.* Влияние структурных параметров режущей керамики на работоспособность инструмента при обработке прецизионных поверхностей деталей горных машин / В.В. Максаров, А.Д. Халимоненко // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2017, Т. 8 (1), С 56-64.
16. *Maksarov V.V.* Forming conditions of complex-geometry profiles in corrosion-resistant materials / V.V. Maksarov, A.I. Keksin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 194(4), 062016.

УДК 622.331

СТРУКТУРНЫЕ РЕШЕНИЯ ПЛАВУЧЕГО КОМПЛЕКСА ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ

Худякова Ирина Николаевна,
аспирант,
Санкт-Петербургский горный
университет кафедра машиностроения

Аннотация. Обоснована необходимость добычи торфяного сырья как местного вида топлива в рамках климатосберегающих технологий для реализации в удаленных и труднодоступных регионах и повышения энергетической безопасности страны. Предложена структурная формула отдельной горной машины для добычи торфяного сырья из неосушенной торфяной залежи. Показаны возможные связи между составляющими элементами комплекса машин. Обоснована целесообразность использования таких комплексов на современном этапе развития торфяной промышленности.

Ключевые слова: торф; торфяное сырье; рациональные подходы; структурная формула; энергетика

THE STRUCTURE OF A FLOATING COMPLEX FOR EXTRACTION AND PROCESSING OF PEAT RAW MATERIALS

Khudyakova Irina Nikolaevna,
postgraduate student,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. The necessity of extraction of peat raw materials as a local fuel in the framework of climate-saving technologies implemented in remote and inaccessible regions to improve the energy security of the country. The structural formula of a separate mining machine for the extraction of peat raw materials from the undrained peat Deposit is proposed. Possible connections between components of a complex of machines are shown. The expediency of use of such complexes at the present stage of development of the peat industry is proved.

Key words: peat; peat raw materials; rational approaches; structural formula; energy

На сегодняшний день потребность в добыче торфяного сырья обусловлена получением дешевого местного топлива, сельскохозяйственных удобрений для повышения плодородия почв и должна способствовать

выполнению программ импортозамещения при решении задач повышения энергетической и продовольственной безопасности, а также сокращать риски возникновения пожаров на отработанных площадях торфяных месторождений, особенно, если они сопровождались предварительным водопонижением территорий [1, 2, 3, 4].

При добыче торфяного сырья комплексами горного оборудования на основе плавучих платформ предполагается вести добычу, как с поверхности торфяной залежи, так и из воды. Использование традиционных методов экскавации весьма эффективны на глубинах до 4-5 метров. При этом необходимо применение модернизированного надежного и ремонтопригодного оборудования, не допускающего размыва отделенного от массива торфяного сырья из рабочего органа экскавирующей горной машины. Либо использование непрерывного процесса создания гидроторфяной пульпы с доставкой ее на плавучую платформу гидротранспортом и последующим центрифугированием или отжимом излишней влаги, что наиболее затратно по сравнению с обычной экскавацией [5, 6, 7, 8].

Технология добычи торфа из натуральной предварительно неосушенной залежи с использованием плавучей платформы позволяет управлять основными технологическими параметрами добываемого торфяного сырья и получаемой из нее торфяной продукции в едином поточном технологическом цикле.

Комплекс такого горно-добычного оборудования, представляет собой самоходную плавучую платформу с размещенным на ней оборудованием для добычи и первичной переработки торфа, а также средствами автономной энергетической генерации и блоками сервисного обслуживания оборудования [9, 10, 11].

В общем случае комплекс горного оборудования может быть представлен блоками: добычи, сепарации, механического обезвоживания, сушки, товарной продукции, электрогенерации, транспортировки, которые объединены в единую цепочку посредством различных связей. При этом по аналогии с блоками, в каждом из них присутствуют модули горного оборудования, также объединенные в единое целое.

По аналогии каждую машину модуля необходимо представить соответствующей структурой. В этом случае, изменяя параметры каждой отдельной машины, модуля, блока можно анализировать показатели функционирования и оптимизировать параметра всего комплекса и его составляющих [2, 12].

Запишем структурную формулу отдельной горной машины и условного модуля, куда она входит как составная часть. В любую машину входит механическая составляющая и ее привод, служащий для приведения в действие исполнительного органа или органа перемещения.

Что касается машин комплекса, то их привод предпочтительнее иметь электрический или электрогидравлический и, как исключение, ДВС.

В этом случае структурная формула в общем виде для горной машины ($ГМ_i$) комплекса может быть представлена следующим образом:

$$ГМ_i = ((M_i + Fg_i) + Fe_i) + I_i \cdot E_i)_i,$$

где M_i – механическая составляющая, обеспечивающая движение объекта и (или) составляющих его частей (элементов); Fe_i, Fg_i, Ff_i – силовая составляющая, где осуществляется преобразование различных видов энергии один в другой, например электрической, гидравлической или энергии топлива; Ge_i – составляющая генерации; E_i - электронная составляющая, формирующая, передающая и осуществляющая обработку электрических сигналов; I_i – информационная составляющая, обеспечивающая, формирующая, осуществляющая хранение, передачу и обработку информационных сигналов.

Здесь электронные и информационные составляющие необходимы для контроля состояния и автоматизированного управления машины и на первом этапе обоснования и выбора параметров машины могут быть не задействованы. В представленном выражении механическая составляющая (M) предназначена для передачи движения и совершения механической работы определяющей производительность горной машины ($П_i$), а первичная силовая составляющая (Fe_i) определяет установленную мощность, подводимую к машине. Зная коэффициент суточного использования оборудования, легко оценить как объем произведенного продукта, так и затраты энергии на его производство.

Структурная формула модуля, по аналогии со структурной формулой горной машины комплекса может быть представлена суммой соответствующих выражений, описывающих структуру машины.

Производительность комплекса будет определяться минимальной производительностью последовательно расположенных в технологической цепочке машин, а энергетические затраты суммой произведений соответствующих коэффициентов суточного использования оборудования на величину первичной силовой составляющей машины.

Соответствующие параметры блока будут определяться модулями его составляющих. Применение таких формул позволяет, с одной стороны, оптимизировать структуру комплекса путем минимизации составляющих ее машин, модулей и блоков, необходимых для реализации поставленной задачи, с другой стороны, оценивать необходимые мощности и величину работы потребные для добычи и переработки торфяного и сопутствующего сырья при заданных объемах производства товарной продукции.

Учитывая, что единый комплекс оборудования на плавучей платформе по добыче и переработке торфяного сырья требует значительных площадей и будет иметь весьма солидную массу, для поддержания на плаву которой потребуется весьма значительное водоизмещение и, как следствие, потребует значительных затрат на подготовку акватории для спуска комплекса, а так же неоправданно большие затраты на доставку его компонент и сборку, то

целесообразно на плавучей платформе оставить лишь комплекс горного оборудования для добычи, сепарации и первичного обезвоживания, а основную часть оборудования по переработке и генерации энергии сосредоточить на берегу, доставляя первично обезвоженное торфяное сырье плавучими контейнерами типа «шаттл», работающими в челночном режиме, что будет способствовать повышению эффективности работы всего комплекса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оценка энергопотребления технологического оборудования автономного модульного комплекса для добычи и переработки торфяного сырья из неосушенного месторождения / И.Н. Худякова, Э.А. Вагапова, С.Л. Иванов // Материалы 13-я Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышлен-ности, строительства и энергетики», Тула, в 2 т., Т.1, 2017, С. 156-163.
2. Формирование структуры основного технологического оборудования автономного комплекса для добычи торфа из неосушенного месторождения / И.Н. Худякова [и др.] // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ», 2017, Т. 9(3). http://naukovedenie.ru/PDF/103TVN317.pdf
3. *Худякова И.Н.* Формирование структуры комплекса добычи и переработки торфяного сырья для месторождений естественной обводненности / И.Н. Худякова, Э.А. Вагапова, С.Л. Иванов // Материалы международной научно-практической конференции «Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация». Санкт-Петербург, 2018, С. 146-148.
4. *Штин С.М.* Применение торфа как топлива для малой энергетики / Горная промышленность, 2011, Т. 7, С. 82–96.
5. *Вагапова Э.А.* Об эффективности применения омагничивания торфяной пульпы при обосновании параметров оборудования комплекса для добычи и переработки торфяного сырья / Э.А. Вагапова, И.Н. Худякова, С.Л Иванов // Материалы 13-я Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышлен-ности, строительства и энергетики», Тула, в 2 т., Т.1, 2017, С. 168-173.
6. *Kokonkov A.A.* Autonomous complex module for peat development on watered deposits / A.A. Kokonkov, D.D. Liakh, S.L. Ivanov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 194, 032011.
7. *Khudyakova I.N.* Raw peat production and processing from flooded fields and approaches to maintain dehydration/ I.N. Khudyakova, E.A. Vagapova, S.L. Ivanov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 194, 032010.

8. *Ivanov S.L.* Integral criterion of mining machines technical condition level at their operation / S.L. Ivanov, P.V. Shishkin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 87, 022009.
9. *Кремчеев Э.А.* Особенности структуры комплекса технологических операций при экскаваторной добыче торфа со стадийным обезвоживанием сырья // Записки Горного института, 2018, Т. 231, С. 225–234.
10. Пат. 2599117 Российская Федерация, МКП E21 C 49/00. Способ разработки торфяных месторождений / С.Л. Иванов [и др.], заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский горный университет. - № 2015108533/03, заявл. 11.03.2015, опубл. 10.10.2016 Бюл. № 28. - 8 с.
11. *Ivanov S.L.* Manufacturing and design technology of Combined corrected gearing and nonstandard Radial clearance / S.L. Ivanov, P.V. Shishkin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 194, 022013.
12. *Казаков В.А.* Технологическая характеристика комплексов при разработке озерных сапропелевых месторождений / Горный информационно-аналитический бюллетень, 2011, Т 1, С. 125-129.

УДК 622.236.22

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ ИЗОЛЯЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДАХ

Ценев Андрей Николаевич,
аспирант,
Санкт-Петербургский горный университет

Аннотация. В работе представлен анализ причин образования дефектов изоляционных покрытий на магистральных газопроводах, а также, на основании практических данных проведения инспекционного контроля изоляционных покрытий, приведено распределение образования дефектов изоляционных покрытий по пяти основным группам в процентном соотношении. Рассмотрен комплекс работ по определению технического состояния изоляционных покрытий. Предложено решение проведения оценки потенциальной опасности возникновения коррозии на магистральном трубопроводе по результатам обследования состояния изоляции.

Ключевые слова: изоляционное покрытие; магистральный газопровод; дефект; коррозия; коррозионная опасность; праймер; технология нанесения изоляционных покрытий; безопасная эксплуатация

PREVENTING THE FORMATION OF DEFECTS IN COATINGS ON GAS PIPELINES

Tsenev Andrew Nikolaevich,
postgraduate student,
Saint-Petersburg Mining University

Abstract. The paper presents an analysis of the causes of the formation of defects of insulation coatings on the main gas pipelines, as well as, on the basis of practical data of the inspection control of insulation coatings, the distribution of the formation of defects of insulation coatings in five main groups as a percentage. The complex of works on determining the technical condition of insulation coatings is considered. The decision of carrying out an assessment of potential danger of corrosion occurrence on the main pipeline by results of inspection of a condition of isolation is offered.

Keywords: insulation coating; main gas pipeline; defect; corrosion; corrosion hazard; primer; insulation coating technology; safe operation

В настоящее время основная доля аварий на магистральных газопроводах спровоцирована потерей свойств и работоспособности изоляционных покрытий, что приводит к началу коррозионных процессов на трубопроводе[1-3, 6-11]. Дефекты изоляционных покрытий образуются под действием внешних механических нагрузок, температурного и химического воздействия окружающей среды, физико-химических процессов, протекающих в материале изоляции [1, 5-10].

В данной работе приведены причины образования дефектов на основе статистических данных инспекционного контроля изоляционных покрытий магистральных трубопроводов [2, 3], распределение представлено на рис. 1, из которых можно выделить основными следующие [4]:

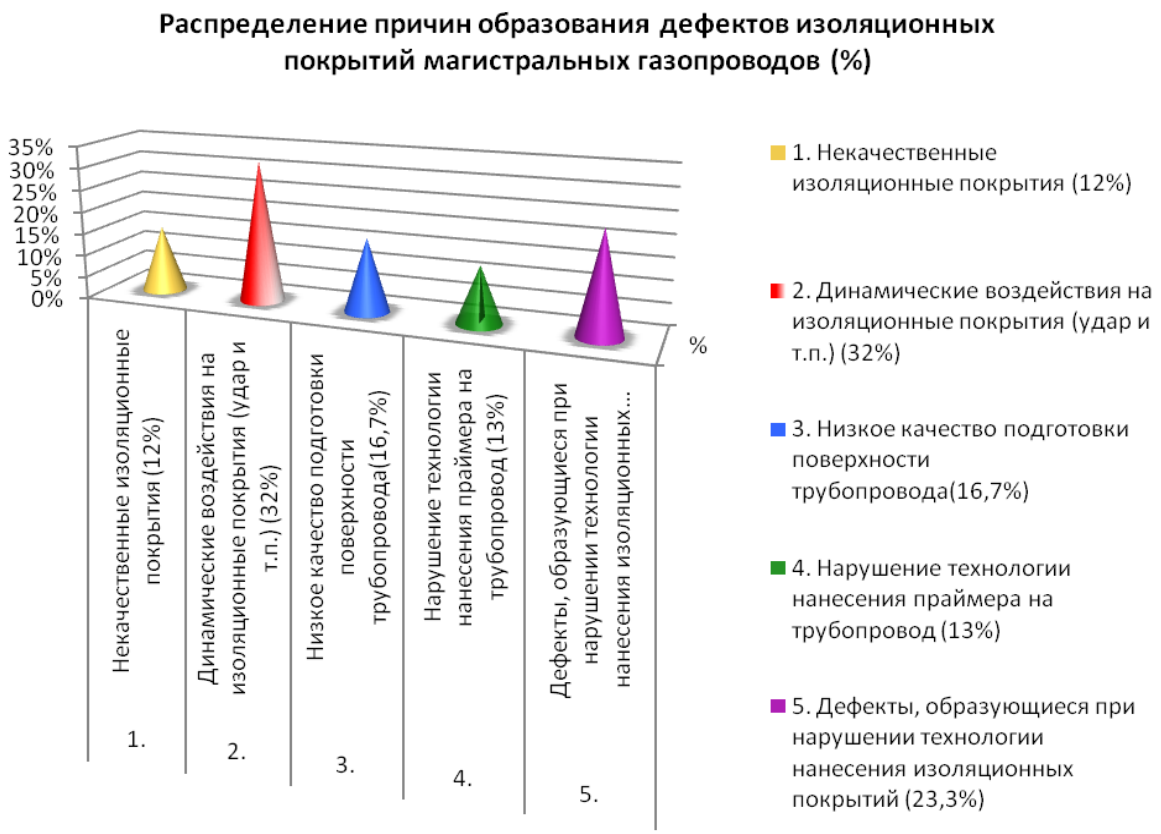


Рис. 1 - Распределение причин образования дефектов изоляционных покрытий магистральных газопроводов (%)

1. Некачественные изоляционные покрытия. Свойства изоляционных покрытий снижаются в результате нарушений транспортировки, хранения или приготовления (нарушение компонентного состава; температурных режимов приготовления мастик и т.д.

2. При воздействии на трубы ударных динамических нагрузок в процессе хранения, погрузочно-разгрузочных работ и транспортировки образуются вмятины, а также наблюдается нарушение сплошности изоляционных покрытий за счет механических воздействий на материал (царапины, задиры, трещины и др.).

3. Низкое качество подготовки поверхности металла газопровода (очистка его от ржавчины, окалины, обезжиривание) значительно снижает адгезионные свойства по отношению к металлу газопровода. К аналогичным последствиям приводит нарушение требуемой шероховатости металла по паспорту поставляемых материалов в соответствии со стандартами ISO, API, DIN.

4. Некачественное нанесение праймера на трубопровод. В трассовых условиях при нанесении различных видов праймеров на влажную поверхность труб образуются пузыри, которые снижают прилипаемость грунтовки к металлу. При недостаточном или неравномерном обливе трубы грунтовкой, перекосе брезентового полотенца, сильном его загрязнении и износе могут образовываться пропуски в грунтовочном слое [15].

5. Дефекты, образующиеся при нарушении технологии нанесения изоляционных покрытий. Например, разнотолщинность ленты при механизированном нанесении может привести к складкам, гофрам; пропуски в покрытии являются наиболее опасными дефектами. В этих случаях нанесение изоляционного покрытия останавливают и устраняют дефект.

На основании проведенного анализа можно сделать вывод о том, что предотвращение образования повреждений изоляционных покрытий достигается соблюдением нормативных требований по их использованию, а своевременное, более наукоемкими методами [12-14], обнаружение дефектов изоляционных покрытий магистральных газопроводов исключает начало образования коррозионных процессов в стенке трубопровода, тем самым обеспечивается безаварийность работы и гарантирует безопасность его эксплуатации. В целях своевременного выявления повреждений изоляционных покрытий, для предотвращения образования коррозии в стенке трубы, необходимо проводить постоянный мониторинг магистральных трубопроводов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Защита трубопроводов от коррозии: Учебное пособие. Том 1 / Ф.М. Мустафин [и др.]. - СПб.: Недра, 2005, 620 с.
2. *Ценев А.Н.* Мониторинг технического состояния изоляционных покрытий МГП в зоне постоянного действия блуждающих токов / А.Н. Ценев, М.Н. Назарова, В.В. Носов, Г.С. Шарнина // Деловой журнал Neftegaz.RU, 2018, Т. 12, С. 58-60.
3. http://www.gks.ru.
4. *Харисов Р.А.* Анализ причин возникновения дефектов защитных покрытий трубопроводов / Р.А. Харисов, А.И. Гаскаров, Ф.М. Мустафин // Нефтегазовое дело, 2009, Т. 7(2), С. 106-111.
5. *Ценев А.Н.* Поиск повреждений изоляционных покрытий магистральных газопроводов без вскрытия в зоне постоянного действия блуждающих токов / А.Н. Ценев, В.В. Носов, М.Н. Назарова // Горный информационно-

аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2017, Т. S5-2, С. 430-438.
6. *Ilinykh M.V.* Assessment of technical condition of underwater transitions of main pipelines in real / M.V. Ilinykh, M.N. Nazarova, E.V. Akimova, A.G. Palaev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, Vol. 194(7), 072003.
7. *Хафизов А.Р.* О роли строительных и металлургических дефектов в разрушении магистральных трубопроводов / А.Р. Хафизов, М.Н. Назарова, А.Н. Ценев, Н.К. Ценев // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов, 2017, Т. 3, С. 24-31.
8. *Назарова М.Н.* Риск-ориентированный подход к обеспечению безопасной эксплуатации газопроводов системы газораспределения / М.Н. Назарова, В.В. Понкратова // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2019, Т. 7, С. 484-489.
9. *Nosov V.V.* On the Principles of Optimizing the Technologies of Acoustic-Emission Strength Control of Industrial Objects / Russian Journal of Nondestructive Testing, 2016, Vol. 52(7), С. 386–399.
10. *Назарова М.Н.* Физико-механические свойства стального магистрального нефтепровода после длительной эксплуатации / М.Н. Назарова, В.И. Болобов // В сборнике трудов VII Евразийского симпозиума по проблемам надежности материалов и машин для регионов холодного климата. Пленарные доклады, 2014, С. 134-137.
11. *Tsenev A.N.* Fault location method for unexposed gas trunk line insulation at stray current constant effect area / A.N. Tsenev, V.V. Nosov, E.V. Akimova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 87(9), 092028.
12. *Харисов Р.А.* Экспертная оценка свойств защитных покрытий применяемых при изоляции трубопроводов / Трубопроводный транспорт: теория и практика, 2008, Т. 2008, С. 176.
13. *Харисов Р.А.* Метод экспертной оценки для определения оптимальной конструкции защитных покрытий трубопроводов / Р.А. Харисов, И.Ф. Кантемиров, Ф.М. Мустафин // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов, 2009, Т. 4 (78), С. 74-83.
14. *Харисов Р.А.* Проведение экспертной оценки для защитных покрытий трубопроводов / Р.А. Харисов, И.Ф. Кантемиров // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», 2010, Т. 1, С. 5.
15. *Харисов Р.А.* Обзор конструкций и способов нанесения изоляционных полимерных ленточных покрытий трубопроводов / Трубопроводный транспорт: теория и практика, 2008, Т. 2008, С. 179.

УДК 622.285

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ СЕКЦИЙ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ ОЧИСТНОГО МЕХАНИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА

Цыулева Ксения Григорьевна,
Гаращенко Жана Максимовна,
группа ГМ-15,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. Целью данной работы является анализ особенностей развития секций крепи очистных забоев. В качестве критериев приняты: тип крепи, способ и характер исполнения. На основании этих критериев выделены 4 этапа развития секций механизированных крепей.

Ключевые слова: стойка; рамная крепь; кустовая крепь; механизированная крепь; щитовая крепь

FEATURES OF THE DEVELOPMENT OF SECTIONS OF POWERED ROOF SUPPORTS PURIFICATION OF THE MECHANIZED COMPLEX

Tcyuleva Ksenia Grigorievna,
Garashchenko Zhana Maximovna,
group GM-14,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. The purpose of this work is to analyze the features of the development of sections of the cleaning faces support. As criteria are adopted: type of lining, method and the nature of the performance. On the basis of these criteria 4 stages of development of sections of the mechanized fastenings are allocated.

Keywords: prop stay; prop-and-bar system; chock-type support; section-type support; shield support; movable shield

Анализируя цепочку развития от раннего этапа добычи угля до нынешних дней, мы можем судить о цикличности развития механизированных крепей. Здесь можно выделить 4 этапа (рис. 1), в каждом из которых разрабатывались новые идеи и концепции. И как результат выбор единственной верной и надежной конструкции, которая будет работать до тех пор, пока не придут к новой идеи или возможности, и развитие начнется по новому циклу.

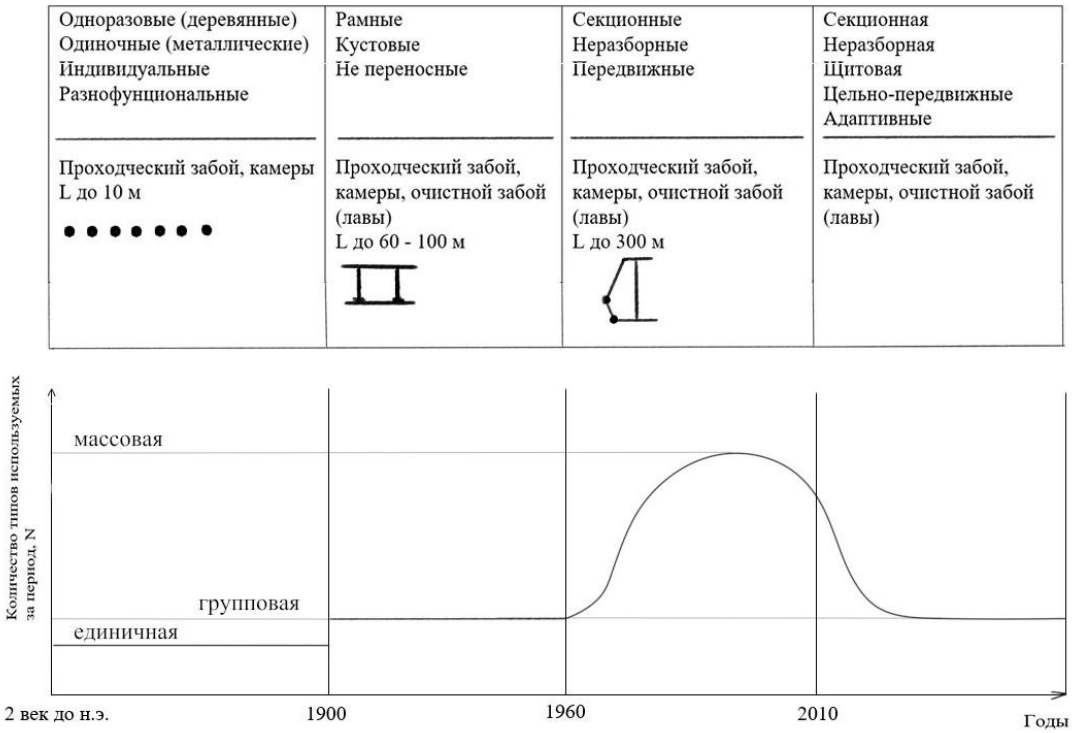


Рис. 1 - Этапы развития механизированной крепи

1-й этап. Выемка угля велась открытым и подземным способом. Сначала проходили забой длиной 2-3 метра, с течением времени потребовалось проходить большее расстояния, начали проходить камеры длиной до 20 метров, в дальнейшем длина забоя увеличилась до 60 метра.

Из-за увеличения длины выработок, приходилось крепить борта, защищая от вывалов породы, верхняки, чтобы не было обрушения кровли. Первый этап можно считать продолжительностью от 2 в.н.э до 1900 г. − средняя величина развитие крепления выработок.

2-й этап. Появились более сложные крепи без разборные, рамные, одноразовые и кустовые, которые использовались в выработках [1]. Тем самым из-за более надежного крепления, длина выработок увеличилась с 60 метров до 100 метров.

3-й этап. Появление секционной, неразборной, цельнопередвижной секции резко уменьшило количество вспомогательных выработок [1, 2]. Возросла производительность, так же увеличились размеры выработок.

Механизированная крепь, секции которых не имеют постоянных кинематических связей между собой и с др. оборудованием лавы, называются секционными. Вследствие большой трудоёмкости передвижки и установки секционные крепи не нашли широкого применения.

Комплектные крепи состоят из комплектов, включающих две и более кинематически связанных между собой секций. Комплекты крепи не имеют связей между собой.

Секции агрегатированной крепи имеют постоянную кинематическую связь с базовым элементом очистного комплекса − ставом забойного

конвейера, направляющей рамой выемочной машины или специальным базовым элементом [3].

Гидродомкратами передвижения снабжаются все или часть секций агрегатированной крепи. Наличие постоянной связи с базой и, как правило, направленное движение являются благоприятными предпосылками для дистанционного и автоматизированного управления всем комплексом оборудования очистного забоя. Агрегатированные крепи считаются наиболее перспективными.

4-этап. Для разработки угольных пластов в самых разнообразных горно-геологических условиях созданы и прошли промышленные испытания крепи различных типов, но далеко не все они нашли применение на шахтах из-за различного рода конструктивных недоработок или в силу других причин [4-7]. На сегодняшний день существует огромное многообразие крепей, но их вытеснила щитовая крепь так, как она более безопасная и надежная, адаптивная к изменениям горно-геологических условий [8-12].

К щитовым крепям относят крепи оградительно-поддерживающего или поддерживающе-оградительного типов, у которых поддерживающие элементы и основания секций имеют силовую и кинематическую связь между собой, не только с помощью гидравлических стоек, но также и с помощью оградительной части.

Дополнительная силовая и кинематическая связь перекрытия и основания секций с помощью ограждения увеличивает жесткость конструкции секции в продольном и поперечном направлениях. Все щитовые крепи выполняют только с нижней завязкой, а наличие силовой связи верхнего перекрытия с основанием позволяет передвигать секции крепи с активным подпором, разгружая при этом гидростойки от поперечных усилий.

Выводы: развитие механизированной крепи подземных выемочных выработок характеризуется 4-мя этапами:

1. Этап использования одиночных одноразовых стоек;

2. Этап использования рамных и кустовых секций (неразборных, передвижных);

3. Этап использования секционных, неразборных, цельнопередвижных секций механизированных крепей;

4. Этап использование секционных, неразборных, цельнопередвижных, щитовых адаптивных крепей.

Дальнейшее развитие механизированных крепей, как считают специалисты [8, 10, 12], связано с развитием их адаптивности: контактной, кинематической и динамической.

Развитие данной темы будет продолжено в направлениях научно-исследовательских работ кафедры машиностроения, обозначенных в [13-15].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Коровкин Ю.А.* Механизированные крепи очистных забоев / Ю.А. Коровкин, Ю.Л. Худин. - М.: Недра, 1990. – 413 с.

2. *Gabov V.V.* Evaluation of structure and variables within performance rating of hydraulically powered roof sup-port legs with smooth roof control / V.V. Gabov, D.A. Zadkov, A.V. Stebnev // Eurasian mining, 2016, Vol. 2, C. 37-40.
3. *Стебнев А.В.* Анализ и оценка устойчивости режимов работы очистного механизированного комплекса / А.В. Стебнев, В.В. Габов, А.И. Королев // Горное оборудование и электромеханика, 2018, Т. 1(135), С. 37-40.
4. *Стебнев А.В.* Анализ работы очистных механизированных комплексов в условиях шахт АО «СУЭК-Кузбасс» / А.В. Стебнев, С.Г. Мухортиков, Д.А. Задков // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME-2017. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, 2017, С. 84-89.
5. *Stebnev A.V.* Analysis of operation of powered longwall systems in mines of SUEK-Kuzbass / A.V. Stebnev, D.A. Zadkov, V.V. Gabov, S.G. Mukhortikov // Eurasian mining, 2017, Vol. 2, C. 28-32.
6. *Габов В.В.* Адаптация очистного комплекса при отработке выемочного столба к изменяющимся горно-геологическим условиям внедрением забойного зарубного конвейера / В.В. Габов, А.И. Королев // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME-2017. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, 2017, С. 32-34.
7. *Габов В.В.* Состояние и перспективы использование очистных механизированных комплексов на шахтах Вьетнама / В.В. Габов, К.Л. Нгуен // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME-2017. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, 2017, С. 79-82.
8. *Буевич В.В.* Адаптация секции механизированной крепи совершенствованием механической характеристики гидропривода ее гидростоек / В.В. Габов, Н.В. Бабырь, Д.А. Задков, А.В. Стебнев // Горное оборудование и электромеханика, 2016, Т. 3(121), С. 28-34.
9. *Буевич В.В.* Безимпульсное управление режимом работы гидростоек секций гидрофицированной крепи очистного механизированного комплекса / В.В. Буевич, В.В. Габов, Д.А. Задков, О.В. Кабанов // Горное оборудование и электромеханика, 2015, Т. 3(112), С. 26-30.
10. *Бабырь Н.В.* Повышение адаптивности секции механизированной крепи к медленно изменяемому горному давлению / Н.В. Бабырь, Д.А. Задков // Труды XIV международной научно-технической конференции «Чтения памяти В.Р. Кубачека». Екатеринбург. Уральский государственный горный университет, 2016, С. 18-21.
11. *Задков Д.А.* Повышение устойчивости работы секции механизированной крепи / Д.А. Задков, Н.В. Бабырь // 12-я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. Тула. Тульский государственный университет, 2016, Т 1, С. 265-267.
12. *Буевич В.В.* Статически адаптируемая секция крепи механизированного комплекса / В.В. Буевич, В.В. Габов, Д.А. Задков, О.В. Кабанов // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности

эксплуатации горношахтного и нефтепромыслового оборудования, 2014, Т. 1(1), С. 66-70.
13. *Габов В.В.* О значимости и особенностях преподавания учебной дисциплины «Основы научных исследований, организации и планирования эксперимента» в подготовке магистров по направлению 15.04.02 «Технологичские машины и оборудование» / В.В. Габов, Д.А. Задков // Сборник научных трудов II Всероссийской научной конференции «Современные образовательные технологии в подготовке специалистов для минерально-сырьевого комплекса», 2018, С. 528-535.
14. *Задков Д.А.* О значимости научно-исследовательской работы студентов специализации «Горные машины и оборудование» / Д.А. Задков, В.В. Габов // Сборник научных трудов II Всероссийской научной конференции «Современные образовательные технологии в подготовке специалистов для минерально-сырьевого комплекса», 2018, С. 558-563.
15. *Габов В.В.* О роли тематики научно-исследовательской работы в процессе подготовки магистров по направлению 15.04.02 «Технологические машины и оборудование» / В.В. Габов, Д.А. Задков // Сборник научных трудов II Всероссийской научной конференции «Современные образовательные технологии в подготовке специалистов для минерально-сырьевого комплекса», 2018, С. 101-105.

УДК 621.791.048.3

РАЗРАБОТКА ФЛЮСА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПОВЕРХНОСТИ ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЛЕГКОПЛАВКОГО РАСПЛАВА

Чиркова Ольга Сергеевна,
группа МНММ-17,
Санкт-Петербургский горный университет

Аннотация. Показаны результаты разработки флюса CaO-Li_2CO_3-B_2O_3, действующего в условиях окислительной среды печи. Флюс применяется для защиты расплава от окисления и удаления окислов с поверхности образца, на который непосредственно наносится покрытие. Использование данного флюса в открытых печах позволило нанести качественные никелевые покрытия толщиной 18 мкм, соизмеримой с толщиной покрытий, полученных в вакуумных печах. Отмечено негативное влияние компонентов флюса на поверхность образца при длительном соприкосновении в условиях окислительной среды печи.

Ключевые слова: флюс; диффузионная металлизация; защита поверхности; оксид кальция; оксид бора; карбонат лития

DEVELOPMENT OF FLUX FOR PROTECTION OF THE SURFACE OF LIQUID-METALLIC LOW-MELTING-POINT FUSIBLE MELT

Chirkova Olga Sergeevna,
group MNMM-17,
Saint-Petersburg Mining University

Abstract. The results of the development of the flux CaO-Li_2CO_3-B_2O_3, operating in the oxidizing environment of the furnace, are shown. Flux is used to protect the melt from oxidation and removal of oxides from the surface of the sample, which is coated. The use of this flux in open furnaces made it possible to apply high-quality nickel coatings with a thickness of 18 μm, commensurate with the thickness of coatings obtained in vacuum furnaces. The negative effect of flux components on the sample surface was noted during prolonged contact under the conditions of the oxidizing environment of the furnace.

Keywords: flux; diffusion metallization; surface protection; calcium oxide; boron oxide; lithium carbonate

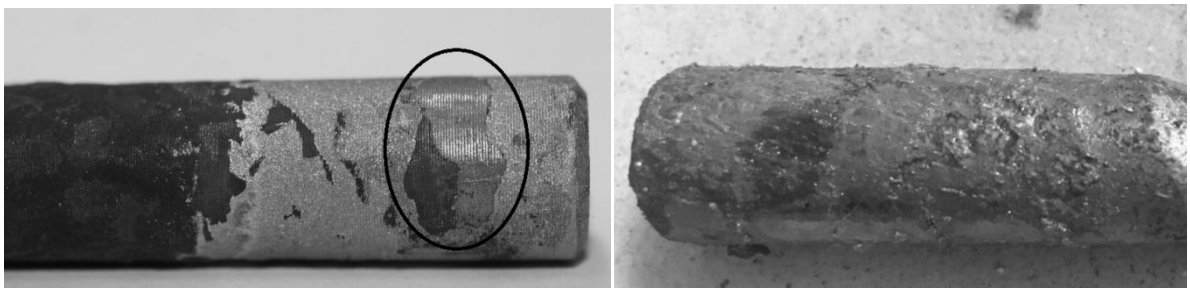
Наиболее перспективным из методов поверхностного упрочнения является химико-термическая обработка из жидкой фазы, связанная с

диффузионным насыщением поверхностных слоев изделий различными химическими элементами [1-3].

При нанесении защитных металлических диффузионных покрытий из легкоплавких расплавов возникают следующие проблемы: окисление и испарение транспортного расплава; образование окислов на поверхности стальных образцов, на которые наносится покрытие [4]. Для решения данных проблем и дальнейшей активизации этого процесса путем сокращения времени на создание ювенильной поверхности обрабатываемого металла представляется целесообразным исследовать влияние высокотемпературных флюсов [5, 6]. Помимо этого, использование флюсов позволяет осуществлять процесс нанесения покрытия без использования вакуумного оборудования [7].

В качестве способа для нанесения покрытий в исследовании был использован жидкофазный метод, в котором элемент покрытия доставляется к поверхности обрабатываемого металла из расплава. Покрытие нанесено на цилиндрические образцы (d = 10 мм, l = 80 мм) из стали 20. Для нанесения покрытий из легкоплавкого расплава Pb-Ni (3% Ni) была использована муфельная электропечь Snol 8.2/1100. Температура нанесения покрытий составляет 950 °С, время нанесения – 4 ч.

Существующие флюсы малоэффективны при использовании в технологии открытых печей [8, 9], поэтому исследования проводились со специально разработанным флюсом CaO-Li_2CO_3-B_2O_3, в составе которого недорогие и широко распространенные компоненты: CaO – 18-20 %, Li_2CO_3 – 30 %, B_2O_3 – 50-52 %. Разработанный флюс на основе CaO-Li_2CO_3-B_2O_3 по величине изобарно-изотермических потенциалов наиболее активных компонентов способен восстанавливать окисные пленки основных металлов непосредственно во время погружения изделия в расплав [10]. Вторая цель разработки этого флюса – защита поверхности легкоплавкого расплава сплошной жидкой стекловидной массой от парения и окисления в открытых печах. Для этого в состав флюса введены CaO и B_2O_3, образующие стекловидную массу на поверхности расплава. Соль лития введена для обеспечения взаимодействия с кислотообразующими окислами металлов.

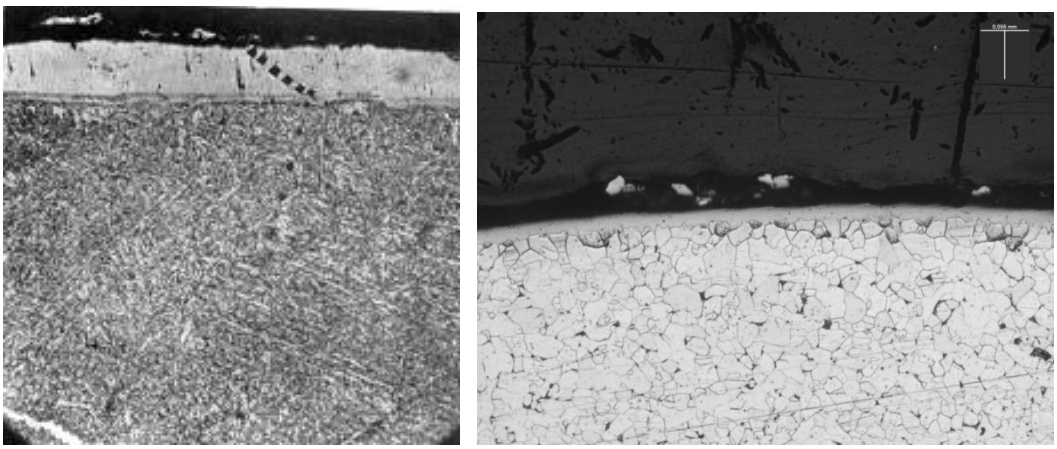


а) б)

Рис. 1 - Влияние флюсов на равномерность диффузионного покрытия на стали 20 (950 °С, 4 ч):
а) без флюса, б) флюс CaO-Li_2CO_3-B_2O_3

В ходе исследования было выявлено, что никелевое покрытие, нанесенное на углеродистую сталь 20 без использования флюса, неравномерно распределено по образцу – после травления в 5% растворе HNO_3 (рис. 1), а четко определимо «пятно» никелевого покрытия. Покрытие, полученное с использованием флюса CaO-Li_2CO_3-B_2O_3, равномерно распределено по образцу. Следовательно, была доказана необходимость применения флюсов в технологии диффузионной металлизации с использованием открытых печей. Кроме того, теоретические данные [11] о том, что удаление окисных пленок флюсами с поверхности твердого металла улучшает растекание расплава по нему, подтверждены экспериментально.

Благодаря флюсам стало возможным получать равномерное покрытие на стальных изделиях без использования вакуумного оборудования. Спустя 4 часа выдержки образца под флюсом CaO-Li_2CO_3-B_2O_3 в открытой печи было получено равномерное покрытие толщиной 18 мкм (рис. 2, б), в вакуумной печи спустя 4 часа достигается толщина никелевого покрытия, равная 20 мкм [12].



а) б)

Рис. 2 - Никелевое покрытие на стали 20 (флюс CaO-Li_2CO_3-B_2O_3):
а) вакуумная печь (1200 °С, 15 ч) (×100) [1], б) открытая печь (950 °С, 4 ч)

В процессе исследования разработанного флюса было выявлено его негативное влияние на часть образца (рис. 3), находящуюся не в расплаве Pb-Ni, а соприкасающуюся с флюсом в течение длительного времени выдержки в печи (4 часа).

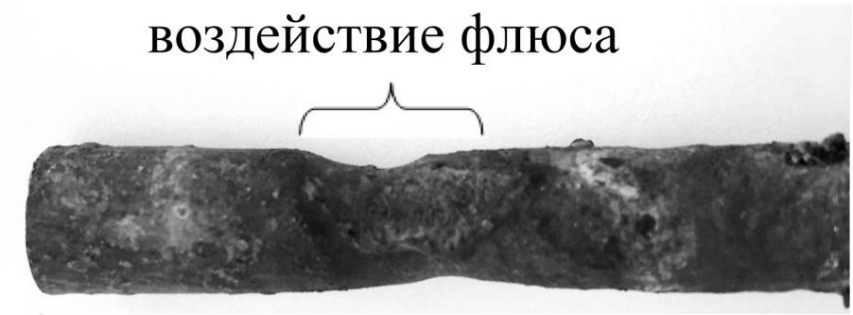


Рис. 3 - Негативное влияние флюса CaO-Li_2CO_3-B_2O_3 на образец

Активные компоненты флюса $CaO-Li_2CO_3-B_2O_3$ повреждают поверхность образца. Для предотвращения повреждения поверхности, весь образец должен находиться в расплаве Pb-Ni.

Таким образом, использование флюса в открытых печах позволяет получать качественные никелевые покрытия толщиной, соизмеримой с толщиной покрытий, полученных в вакуумных печах. Использование флюса $CaO-Li_2CO_3-B_2O_3$ для получения защитных металлических диффузионных покрытий – это экономически выгодное решение, так как флюс состоит из широко распространенных и доступных компонентов, помимо этого, в способе используются открытые печи, а не более дорогие вакуумные. Однако обнаруженное в ходе исследования отрицательное воздействие компонентов флюса на поверхность стального образца привело к необходимости последующего совершенствования состава флюса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сивенков* А.В. Повышение коррозионной стойкости деталей машиностроения путем нанесения защитных покрытий способом высокотемпературного диффузионного осаждения из среды легкоплавких расплавов: дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук: 05.02.01. – СПб., 2009. – 149 с.
2. *Шатинский В.Ф.* Защитные диффузионные покрытия / В.Ф. Шатинский, А.И. Нестеренко. – Киев: Наукова думка, 1988. – 272 с.
3. *Лахтин* Ю.М. Химико-термическая обработка металлов / Ю.М. Лахтин, Б.Н. Арзамасов. - М.: Металлургия, 1985. – 206 с.
4. *Зверькова* Е.И. Использование флюсов для защиты легкоплавких расплавов // Международная научно-практическая конференция «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2018», Секция «Круглый стол молодых ученых», 2018, С. 75.
5. *Петрушин И.Е.* Пайка металлов / И.Е. Петрушин, С.Н. Лоцманов, Г.А. Николаев. - М.: Машиностроение, 1973. – С. 40-43.
6. *Лашко Н.Ф.* Пайка металлов / Н.Ф. Лашко, С.В. Лашко. - М.: Машиностроение, 1977. – С. 187-190.
7. *Сивенков* А.В. Применение флюсов в технологии ВТДО / Материалы научной конференции. Часть1. СПб., СЗТУ, 2003, С. 120-124.
8. *Сердюк Н.А.* Использование флюсов в технологии нанесения защитных покрытий из легкоплавких расплавов / Н.А. Сердюк, А.В. Сивенков, Е.И. Пряхин, А.В. Михайлов // II Всероссийская национальная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований», Комсомольск-на-Амуре. Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2019, С. 150-153
9. *Михайлов* А.В. Разработка установки для нанесения покрытий в среде легкоплавких металлических растворов / Международная научно-

практическая конференция «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2018», Секция «Круглый стол молодых ученых», 2018, С. 122.
10. *Сивенков* А.В. Оценка эффективности метода нанесения покрытий из среды легкоплавких расплавов / Сборник научных трудов, СПб., СЗТУ, 2005, С. 287-290.
11. *Сивенков* А.В. Химико-термическая обработка сталей в среде легкоплавких растворов / Записки Горного института, 2014, Т. 209, С. 244-248.
12. *Сивенков* А.В. Исследование свойств никелевых покрытий, нанесенных из легкоплавких расплавов / Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, 2009, Т. 3(84), С. 119-123.

УДК 621.795.8

ВЛИЯНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ НА КОНТРАСТНОСТЬ ЛАЗЕРНОЙ МАРКИРОВКИ

Чумакова Карина Александровна,
Малюшин Иван Михайлович,
группа МНММ-17,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра МиТХИ

Аннотация. В данной статье рассматривается влияние шероховатости на контрастность лазерной маркировки стали 08Х18Н10 при помощи системы «МиниМаркер2–20А4». Высокий уровень точности, четкости, высокая скорость нанесения ,легкость исполнения и малое воздействие на материал ,позволяет применять лазерную маркировку в любой промышленности.

Ключевые слова: маркировка; лазер; шероховатость; коррозионностойкая сталь; контрастность

INFLUENCE OF ROOF SURFACE ON CONTRAST-LIST OF LASER MARKING

Chumakova Karina Alexandrovna,
Malushin Ivan Mikhailovich,
group MNMM-17,
Saint-Petersburg Mining University,
Department MiTHI

Abstract. This article discusses the effect of roughness on the contrast of laser marking of steel AISI 304 using the MiniMarker2-20A4 laser system.The high level of accuracy, clarity, high application speed, ease of execution and low impact on the material, allows the use of laser marking in any industry.

Keywords: labeling; laser; roughness; stainless steel; contrast

Целью исследования является оценка влияния шероховатости на качества маркировки изделий машиностроения [1-5].

На образцах из стали 08Х18Н10была смоделирована шероховатость с помощью линиатуры: 5 лин/мм, 10 лин/мм, 20 лин/мм с подложкой. Изображения наносились параллельно и продольно направлению шероховатости [6-10].

В ходе эксперимента было реализовано 16 опытов по нанесению черного цвета на образцы (табл. 1), результаты которых представлены на рис. 1.

Таблица 2

Режимы маркировки черного цвета для «шероховатости»:
5 лин/мм ,10 лин/мм, 20 лин/мм

Параметры маркировки	Режимы		
Частота (кГц)	99	60	60
Скорость (мм/сек)	100	50	50
Мощность (%)	35	25	25
lpi маркировки	60	60	40
Скорость импульса (нс)	200	100	100

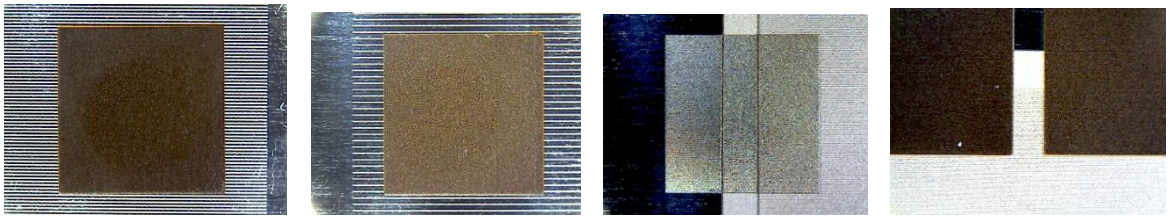


Рис. 1 - Примеры маркировки с различной «шероховатостью»

Изображения были получены с помощью микроскопа eScope Pro DP-M17. Расчет контрастности проводился с помощью программы Photoshop по показателям RGB, которые показывают сколько единиц основных цветов необходимо взять, для получения требуемого черного цвета. Ниже представлены табл. 2 со значениями разности показателей RGB между маркировкой на полированной поверхности и маркировкой на поверхности с «шероховатостью» [11-13].

Таблица 3

Результаты сравнения RGB между маркировкой на полированной поверхности и маркировкой на поверхности с «шероховатостью»

lpi 5					lpi 10					lpi 20			
№ образца	R	G	B	Направление	№ образца	R	G	B	Направлени е	R	G	B	Направление
7, 9	10	4	23	Продольное	1,5	39	47	39	Продольное	46	33	7	Продольное
8, 10	15	25	38	Поперечное	2,6	40	43	45	Поперечное	39	22	6	Поперечное
11, 13	30	29	24	Черное 40	3,13	45	45	42	Черное 40	0	3	5	Черное 40
12, 14	65	55	48	Черное 60	4,14	51	88	79	Черное 60	3	4	13	Черное 60

Выводы:

1. На заданных «шероховатостях», при режиме нанесения черного цвета прослеживается изменение контрастности.

2. При увеличении плотности линиатура («шероховатости») выше lpi 20 лин/мм, контрастность максимального черного цвета не изменяется.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Максаров В.В.* Технологическое обеспечение шероховатости резьбовых поверхностей посредством предварительного магнитно-абразивного полирования метчика / В.В. Максаров, А.И. Кексин //Металлообработка, 2018.
2. *Sivenkov A.V.* Assessment of laser marking contrast with profilometer / A.V. Sivenkov, O.S. Chirkova, D.A. Konchus, E.I. Priahin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018.
3. *Ганзуленко О.Ю.* Особенности окисления некоторых металлических материалов при декорировании с применением лазерных технологий / О.Ю. Ганзуленко, Е.В. Ларионова, Е.И. Пряхин // Дизайн. Материалы. Технология, 2011, Т. 2 (17), С. 67-70.
4. *Ганзуленко О.Ю.* Выбор состава сталей с целью получения изображений полной цветовой гаммы на поверхности изделий при импульсном лазерном излучении / О.Ю. Ганзуленко, А.П. Петкова // Записки горного института, 2014, С. 216-219.
5. *Ershov D.Y.* Analysis of causes and mathematical description of process of manufacturing errors and local defects in mechanical system nodes / D.Y. Ershov, E.G. Zlotnikov, L.E. Koboyankwe // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, Vol. 87(8), 082015.
6. *Сивенков А.В.* Влияние лазерной маркировки на изменение структуры и свойств стали аустенитного класса / Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME-2017. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, 2017, С. 364-368.
7. *Пряхин Е.И.* Особенности формирования цветных оксидных пленок на металлической поверхности под воздействием лазерного излучения / Е.И. Пряхин, М.Г. Афонькин, Е.В. Ларионова // Дизайн. Материалы. Технология, 2010, Т. 3(14), С. 75-79.
8. *Сивенков А.В.* Влияние лазерной маркировки на свойства поверхности стали 08Х18Н10 / Металлообработка, 2018, Т. 4(106), С. 21-27.
9. *Кончус Д.А.* Лазерная маркировка деталей автомобилей нанобар-кодом / В сборнике трудов III международной научно-практической конференции «Инновации на транспорте и в машиностроении», 2015.
10. *Пряхин Е.И.* Нанобар-код - новая двухмерная символика для лазерной маркировки изделий / Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, С. 115-118.
11. *Пряхин Е.И.* Оценка контрастности лазерной маркировки с помощью профилометр / Сборник научных статей по итогам Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 2018, С. 68-69.
12. *Максаров В.В* Технологическое обеспечение шероховатости поверхностного слоя на основе моделирования переходных процессов / В.В. Максаров, Р.В. Вьюшин, А.Е. Ефимов // Металлообработка, 2017, Т. 2(98), С. 39-45.

13. *Кончус Д.А.* Маркировка прецизионным лазером оборудования и деталей машин нефтяной и газовой промышленности // Материалы XVII Международной молодежной научной конференции, 2016, С. 194-197.
14. Тимофеев Д.Ю. Повышение точности изготовления прецизионных поверхностей детали шток гидроцилиндров / Д.Ю. Тимофеев, А.Е. Ефимов // Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, С. 142-145.

УДК 66-926

ПРИМЕНЕНИЕ РАСПЛАВОВ СОЛЕЙ В ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ИЗ ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РАСПЛАВОВ

Шарафутдинова Гузель Расимовна,
группа МНММ-18,
Михайлов Андрей Владимирович,
группа МНММ-17,
Сердюк Никита Александрович,
аспирант,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра МиТХИ

Аннотация. В статье анализируется возможность применения солей в качестве защитного материала в технологии нанесения покрытий из жидкометаллических расплавов. Рассмотрено взаимодействие солей NaCl и Na_2CO_3 с продуктами окисления стали 20. Цель работы – разработка состава, который не будет взаимодействовать с продуктами окисления обрабатываемой стали.

Ключевые слова: расплавы солей; жидкометаллические расплавы; диффузионные покрытия; защита легкоплавких металлов

APPLICATION OF MELTS OF SALTS IN TECHNOLOGY OF APPLYING COATINGS FROM LIQUID-METAL MELTS

Sharafutdinova Guzel Rasimovna,
group MNMM-18,
Mikhailov Andrey Vladimirovich,
group MNMM-17,
Serdiuk Nikita Aleksandrovich,
postgraduate student,
Saint-Petersburg Mining University
Department MS&TAP

Abstract. The article analyzes the possibility of using sales as a protective material in the technology of applying coatings from liquid metal melts. The interaction of NaCl and Na_2CO_3 with C1020 oxidation products is considered. The purpose of the work is to develop a composition that will not interact with the oxidation products of the treated steel.

Keywords: molten salts; liquid metal melts; diffusion coatings; protection of low-melting metals

В настоящее время существует много способов нанесения покрытий, и из этих способов своей универсальностью, технологической простотой, экономичностью выделятся способ нанесения покрытий в среде легкоплавких расплавов [1-5]. Способ дает возможность формирования на поверхности изделий как однокомпонентных, так и многокомпонентных покрытий, возможность наносить покрытия на тонкостенные изделия самой сложной конфигурации, в том числе и на художественные изделия, возможность совмещать металлизацию с термообработкой, что позволяет сократить как длительность технологического процесса, так и материальные и энергетические затраты [6-8]. Для защиты легкоплавкого расплава могут применяться флюсы. Из-за сильной активности флюсы вступают в реакцию с продуктами окисления и «разъедают» стенки стального тигля и обрабатываемый образец [9-12]. Во избежание этой проблемы принято решение попробовать менее активную среду, например, соли (табл. 1).

Таблица 1

Наиболее употребительные составы солей, применяемых для нагрева изделий в соляных ваннах при закалке

Составляющие смеси	Химическая формула	Вес, %	Температура плавления, ˚С	Рекомендуемые температурные интервалы работы, ˚С
Поваренная соль Хлористый барий	NaCl $BaCl_2$	22 78	654	675-900
Хлористый калий Кальцинированная сода	KCl Na_2CO_3	50 50	560	580-820
Хлористый кальций Хлористый барий Поваренная соль	$CaCl_2$ $BaCl_2$ NaCl	33 33,5 33,5	570	600-870
Поваренная соль Кальцинированная сода	NaCl Na_2CO_3	35 65	620	650-820

Рассчитали возможность протекания реакции между компонентами смеси солей и окислами на поверхности образца через энергию Гиббса:

$$\Delta G_{\text{р-ции}} = \Delta \text{H}_{\text{р-ции}} - T \cdot \Delta S_{\text{р-ции}};$$

$$H_{\text{р-ции}} = \sum H^o_{\text{кон}} - \sum H^o_{\text{исх}},$$

где $\sum H^o_{\text{кон}}$ и $\sum H^o_{исх}$ – суммарные энтальпии исходных веществ и конечных продуктов реакции, кДж/моль.

Изменение энтропии реакции находится по формуле:

$$\Delta S_{\text{р-ции}} = \sum S^o_{\text{кон}} - \sum S^o_{\text{исх}},$$

где $\sum S^o_{\text{кон}}$ и $\sum S^o_{\text{исх}}$ – суммарные энтропии исходных веществ и конечных продуктов реакции, Дж/(моль·К).

В расчетах для возможных реакций:

$$FeO + Na_2CO_3 \rightarrow FeCO_3 + Na_2O;$$

$$Fe_2O_3 + Na_2CO_3 \rightarrow 2NaFeO_2 + CO_2;$$

$$FeO + Na_2CO_3 \rightarrow FeCO_3 + Na_2O$$

получили, что $\Delta G > 0$. Это указывает на то, что процесс термодинамически запрещен.

Полученные результаты были практически проверены. Образец стали 20 поместили в печь со стальным тиглем в смесь солей NaCl (35%) и Na_2CO_3 (65%) при температуре 800 °С (1073 К) и выдерживали в течение четырех часов. В результате опыта часть образца, находившаяся в соли, не содержала видимых следов окисления (рис. 1). Граница раздела соль-воздух не имеет видимых повреждений поверхности образца.

В результате исследования выяснилось, что смесь солей не вступает в реакцию с продуктами окисления, а значит, может служить в качестве защитного покрытия для среды легкоплавких металлов при нанесении диффузионного покрытия.

Практическая апробация нанесения покрытия из расплавов свинец-никель с защитной смесью солей показало получение качественного покрытия толщиной приблизительно 50 мкм (рис. 2).

Рис. 1 - Сталь 20 после выдержки в расплаве солей NaCl + $\mathbf{Na_2CO_3}$, 800 ˚С, 4 ч

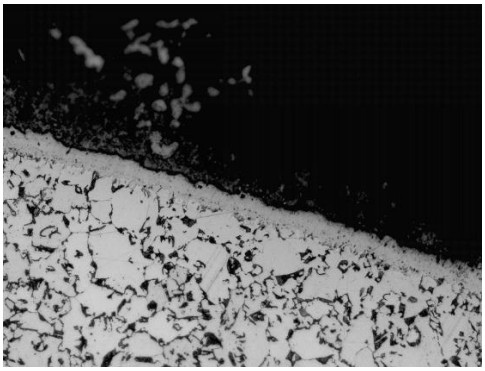


Рис. 2 - Сталь 20 с Ni покрытием из расплава Pb + Ni с применением солей

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сивенков А.В.* Химико-термическая обработка сталей в среде легкоплавких растворов / Записки Горного института, 2014, Т. 209, С. 244-248.

2. *Джаббаров Ш.Н.* Способы защиты от коррозии оборудования по добыче нефти и газа методом диффузионного покрытия металлами / Ш.Н. Джаббаров, Е.И. Пряхин // Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, 2017, С. 326-329.

3. *Сивенков А.В.* Исследование свойств никелевых покрытий, нанесенных из легкоплавких расплавов / Научно-технические ведомости СПбПУ, 2009, Т. 3(84), С. 119-123.
4. *Красный В.А.* Влияние тонкослойных нанопокрытий на фреттинг-коррозию высоконагруженных сопряжений крупногабаритных деталей машин / В.А. Красный, В.В. Максаров, Р.В. Вьюшин // Металлообработка, 2013, Т. 5-6(77-78), С. 63-67.
5. *Цуканов В.В*. Перспективные стали для защиты специальной техники / В.В. Цуканов, А.Б. Милейковский, О.Э. Нигматулин, С.А. Савичев // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму, 2018, Т. 1-2 (115-116), С. 86-94.
6. *Пиирайнен В.Ю.* Семантика художественного литья в декоративно-прикладном искусстве, архитектуре и дизайне / В.Ю. Пиирайнен, И.П. Кириенко, Т.О. Махова // Литейное производство, 2017, Т. 10, С. 35-38.
7. *Николенко С.В.* Исследование зависимости адгезии металлического покрытия и стекла от температуры обжига / С.В. Николенко, В.Ю. Пирайнен // Дизайн. Материалы. Технология, 2011, Т. 4(19), С. 53-56.
8. *Максаров В.В.* Повышение эффективности технологического процесса изготовления внутренних резьб в изделиях горных машин / В.В. Максаров, А.И. Кексин, С.А. Ткаченко // Металлообработка, 2016, Т. 2(92), С. 27-34.
9. *Сивенков А.В.* Восстановление деталей машин химико-термической обработкой / А.В. Сивенков, Д.А. Кончус // Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции, 2016, С. 126-129.
10. *Пряхин Е.И.* Технологическая свариваемость низколегированных сталей при сварке под флюсом на высоких погонных энергиях / Е.И. Пряхин, Д.М. Шарапова, М.Г. Шарапов // Сварочное производство, 2016, Т. 4, С. 3-15.
11. *Сердюк Н.А.* Использование флюсов в технологии нанесения защитных покрытий из легкоплавких расплавов / Н.А. Сердюк, А.В. Сивенков, Е.И. Пряхин, А.В. Михайлов // II Всероссийская национальная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований», Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2019.
12. *Цуканов В.В* Совершенствование технологии производства среднелегированной конструкционной стали путем обработки комплексными модификаторами / В.В. Цуканов, В.Г. Милюц, Е.Ю. Левагин // В сборнике Материалов III Международной научной конференции «Научно-технический прогресс в черной металлургии - 2017», 2017, С. 270-277.

УДК 622.692.4

ПРИМЕНЕНИЕ МИКРООБРАЗЦОВОГО МЕТОДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛА ДЛИТЕЛЬНО ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Шерстнева Анна Олеговна,
группа НХМ - 17,
Санкт-Петербургский горный университет, кафедра транспорта и хранения нефти и газа

Аннотация. Из сопоставления вида кривых деформации микрообразцов стали с видом этих же образцов на различных этапах пластической деформации, делается вывод о существовании двух характерных точек на кривых деформирования, соответствующих началу растяжения образцов в мембранном режиме и началу их сосредоточенной деформации. Используя установленную в экспериментах разницу в ходе индентора между указанными точками и значение нагрузки, соответствующее второй точке, выведено выражение для расчета предела прочности материала микрообразца, не содержащее эмпирических коэффициентов.

Ключевые слова: микрообзцовый способ испытания; низкоуглеродистая сталь; диаграмма деформирования; предел прочности

APPLICATION OF SMALL PUNCH TEST FOR DETERMINING OF STRENGHT PROPERTIES FOR STEELS OF LONGERLY OPERATED PIPELINES

Sherstneva Anna,
group NHM-17,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Transport and Storage of Oil and Gas

Abstract. From the comparison of the type of deformation curves of microsamples with the type of samples at various stages of plastic deformation, it is concluded that there are two characteristic points on the deformation curves corresponding to the beginning of the plate stretching in the membrane mode and the beginning of its concentrated deformation. Using the difference in displacement of the indenter between the points indicated in the experiments and the load value corresponding to the second point, an expression for calculating the strength of the microsample material without empirical coefficients is derived.

Keywords: small punch test; low–carbon steel; strain diagram; tensile strength

На сегодняшний день основным способом оценки состояния металла длительно эксплуатируемых стальных трубопроводов являются механические испытания на растяжение по ГОСТ 1497 образцов, вырезаемых из тела трубы, то есть с применением разрушающего метода контроля. Эти же испытания используются и для оценки изменения механических характеристик металлических материалов в результате различных механических и термических обработок [1-5].

В связи с этим возникает необходимость в разработке неразрушающих методов оценки, к которым относится, в частности, метод микрообразцового анализа (small punch test), заключающийся в вырезке из поверхностного слоя трубопровода образца миллиметровой толщины без потери несущей способности трубы с дальнейшим испытанием его на вдавливание с использованием специального устройства для удержания образца (рис. 1) [6, 7]. Фиксируется усилие вдавливания N, как функция хода индентора h.

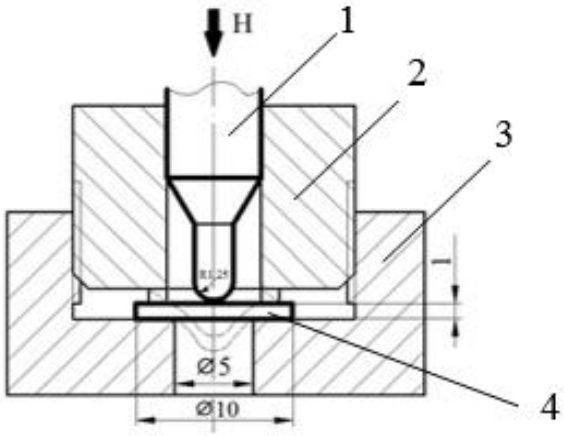


Рис. 1 - Схема испытания образца посредством SPT:
1 – пуансон; 2 – верхняя часть штампа;
3 – нижняя часть штампа; 4 – микрообразец

При наличии значительного количества исследований, посвященных методу SPT [8 - 13], в них отсутствует единый способ определения прочностных характеристик и для их расчета используются эмпирические коэффициенты.

В настоящей работе на основании анализа вида кривых деформации микрообразца и результатов микроскопических исследований его состояния на различных стадиях процесса внедрения индентора выводится формула для расчета предела прочности материала образца, не содержащая эмпирических коэффициентов.

Эксперименты по определению механических характеристик микрообразцовым методом проводились на пластинках диаметром 10 мм, толщиной 1 мм; 1,2 мм и 1,5 мм, вырезанных из прутка стали 08пс, как материала с хорошо изученными механическими свойствами. Полученные диаграммы и вид пластин на различных стадиях их деформации представлены на рис. 2.

Сопоставление вида диаграмм с результатами микроскопического анализа позволило выделить на кривых (рис. 2, *а*) две характерные точки (табл. 1):

- точка 1, соответствующая началу растяжения пластины в мембранном режиме;

- точка 2, соответствующая началу её сосредоточенной деформации, принимаемая в опытах по растяжению образцов за координаты точки предела прочности.

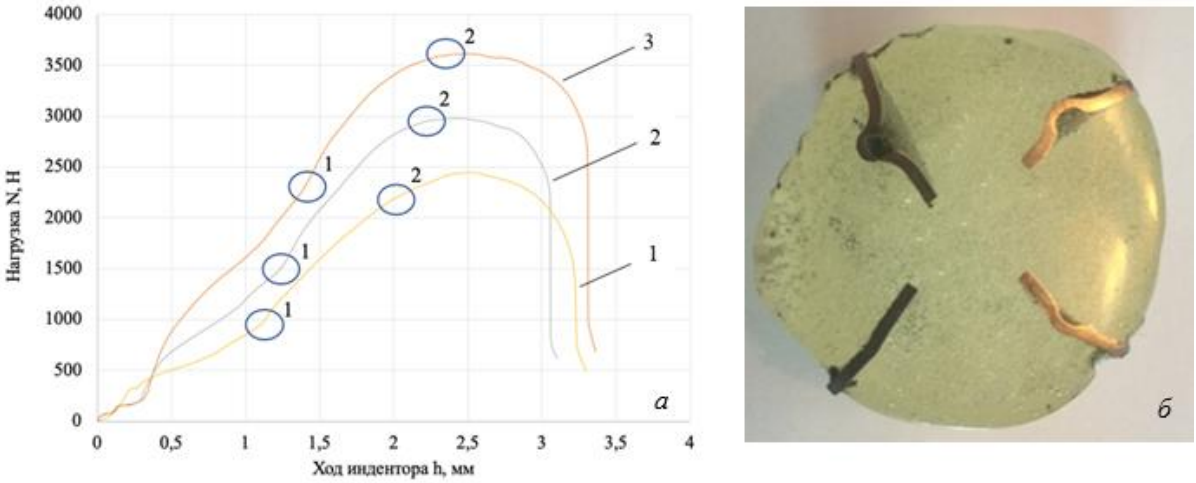


Рис. 2 - Диаграммы деформирования микрообразцов толщиной 1 мм (1), 1,2 мм (2), 1,5 мм (3) (*а*) и их вид на различных стадиях деформации (*б*)

Таблица 1

Координаты характерных точек при различных толщинах образца

Номер точки	Толщина образца, мм	Нагрузка N, Н	Ход индентора h, мм
1	1,0	976,291	1,088
2		2213,1766	1,9935
1	1,2	1553,923	1,2653
2		2930,475	2,1777
1	1,5	2265,503	1,3841
2		3589,94	2,3086

Используя разницу в ходе индентора $\Delta h_{1\text{-}2}$ между указанными точками и исходя из предположения, что площадь поверхности, участвующей в процессе деформирования при вдавливании сферического индентора, представляет собой круг радиусом, равным радиусу пуансона, выведено выражение для расчета предела прочности материала микрообразца:

$$\sigma_B = \frac{N_2}{\pi \cdot ((R_n + \frac{\delta_0 \cdot R_n}{2 \cdot \Delta h_{1-2}})^2 - R_n{}^2)}, \qquad (1)$$

где N_2 - нагрузка, соответствующая точке 2, Н;

R_n - радиус сферического наконечника индентора, м;

δ_0 - исходная толщина образца, м;

Δh_{1-2} - ход индентора, соответствующий участку пластической деформации от точки 1 до точки 2, м.

Рассчитанные по выведенной формуле (1) значения предела прочности (314 МПа для δ_0 = 1 мм, 317 МПа для δ_0 =1,2 мм, 321 МПа для δ_0 =1,5 мм) оказались близкими табличной величине σ_B, установленной в экспериментах по растяжению образцов данной стали (317 МПа).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Chupin S.A.* Study of the effect of thermomechanical processing of the cutter bit body material on its wear rate / Innovation-Based Development of the Mineral Resources Sector: Challenges and Prospects / S.A. Chupin, V.I. Bolobov, A. Jahr, K.J. Heckmann // 11th conference of the Russian-German Raw Materials, 2018, С. 265-272.
2. *Chupin S.A.* Influence of thermomechanical treatment modes on wear resistance of mining equipment material / S.A. Chupin, V.I. Bolobov // Materials Science Forum 945 MSF, 2018, С. 695-699.
3. *Chupin S.A.* The investigation of the influence of thermomechanical treatment of the material of rotary cutter bit toolholders on its hardness / S.A. Chupin, V.I. Bolobov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017, Vol. 177(1), 012062.
4. *Bolobov V.I.* Effect of strengthening treatment on durability of lining in apatite-nepheline ore ball mills / V.I. Bolobov, V.S. Bochkov// Gornyi Zhurnal, 2017, Vol. 1, С. 57-60.
5. *Bolobov V.I.* About increasing wear resistance of rock-breaking tool to abrasion by using mechanical and thermo-mechanical treatment / V.I. Bolobov, S.A. Chupin, V.S. Bochkov // International Review of Mechanical Engineering, 2017, Vol. 11(5), С. 301-304
6. *Самигуллин Г.Х.* Оценка поврежденности металлических элементов нефтегазовых объектов микрообразцовым методом / Г.Х. Самигуллин, М.Н. Назарова, Л.Г. Самигуллина, Г.А. Юсупов // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2016, С. 311-320.
7. Small punch test method for metallic materials, Part B: A code of practice for small punch testing for tensile and fracture behaviour, CWA 15627.
8. *Husain A.* Small punch and indentation tests for structural health monitoring / A. Husain, R. Sharma, D.K. Sehgal // Procedia Engineering, 2017, Vol. 173, С. 710-717.
9. *Simonovski I.* Small punch testing of curved specimens: Finite element analysis and experiment / I. Simonovski, S. Holmstrom, M. Bruchhausen // International Journal of Mechanical Sciences, 2017, Vol. 120, С. 204-213.
10. *Bruchhausen M.* Recent developments in small punch testing: Tensile properties and DBTT / M. Bruchhausen, S. Holmstrom, I. Simonovski, J.-M. Lapetite // Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 2016, Vol. 86, С. 2-10.

11. *Konopík P*. Small punch test application to fracture toughness determination in the upper shelf region / P. Konopík, J. Džugan // Hutnické listy, 2010, Vol. LXIII, C. 123–127.
12. *Ruan Y*. Assessment of mechanical properties of the martensitic steel EUROFER97 by means of punch tests / Y. Ruan, P. Spatig, M. Victoria // Journal of Nuclear Materials, 2002, C. 307-311.
13. *Klevtsov I.* Experience in tensile properties determination by small punch test / I. Klevtsov, A. Dedov // Hutnické listy, 2010, Vol. LXIII, C. 128-132.

УДК 621.285.4; 624.191.6

ВИБРОАКТИВНЫЙ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩИЙ ИНСТРУМЕНТ ТОННЕЛЕПРОХОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Ячейкин Алексей Игоревич,
аспирант,
Санкт-Петербургский горный
университет, кафедра машиностроения

Аннотация. В статье рассматриваются характерные особенности строительства тоннелей в условиях шахт Санкт-Петербургского Метростроя. Рассмотрен тоннелепроходческий комплекс Herrenknecht с роторным исполнительным органом. Предложены варианты совершенствования исполнительного органа. Предложенная модернизация исполнительного органа проходческого комплекса позволит повысить эффективность разрушения твердых включений, а также снизить износ породоразрушающего инструмента.

Ключевые слова: тоннелепроходческий комплекс; виброактивная шарошка; песчаник; скорость проходки; гранитные валуны

VIBROACTIVITY ROCK TOOL FOR THE TUNNEL BORING COMPLEX

Iacheikin Alexey Igorevich,
postgraduate student,
Saint-Petersburg Mining University,
Department of Mechanical Engineering

Abstract. The article deals with the characteristic features of the construction of tunnels in the mines of St. Petersburg Metrostroy. Considered TBM Herrenknecht with rotary Executive body. Options for improving the Executive body are proposed. The proposed modernization of the Executive body of the tunneling complex will improve the efficiency of destruction of solids, as well as reduce the wear of the rock-cutting tool.

Keywords: tunnel complex; vibroaction cutter; Sandstone; rate of penetration; granite boulders

Самым востребованным транспортом в крупных городах является метрополитен. В Санкт-Петербурге он так же очень популярен, несмотря на то, что его строительство ведется весьма низкими темпами в виду сложнейших горно-геологических условий [1].

Для проходки подземных выработок [2] Санкт-Петербургский Метрострой применяет целый комплекс проходческой техники: тоннелепроходческие комплексы КТ1-5,6 [3], Herrenknecht S-782 [4], Herrenknecht S-441 [5] (рис. 1), а также специальные тюбингоукладчики для проходки коротких специальных выработок [6].

Рис. 1 - Проходческие комплексы Herrenknecht S-441 и Herrenknecht S-782

Наиболее современным и востребованным является Herrenknecht S-782. Комплекс оснащен роторным исполнительным органом, с установленным на нем комплектом породоразрушающего инструмента – резами и шарошками [7]. Опыт применения комплекса показал низкую эффективность разрушения комбинированного забоя, состоящего из кембрийской глины, твердых включений гранитных валунов и прослоек песчаника. Взаимодействие резцов и шарошек с гранитными валунами и прослойками песчаника заканчивалось огромным износом породоразрушающего инструмента (рис. 2) [8].

Рис. 2 - Износ ротора и породоразрушающих инструментов

В настоящее время задача повышения разрушения комбинированного забоя и в частности твердых включений является актуальной. Для этого предлагается:

Установка большего количества лезвийных или зубчатых шарошек, которая позволит снизить нагрузку на каждую шарошку и в совокупности с своевременным снижением скорости подачи позволит снизить износ породоразрушающего инструмента [9].

Установка виброактивных шарошек, принцип действия которых основан на дробяще-скалывающем способе разрушения забоя [10]. При столкновении шарошки с твердыми включениями происходит активация генератора колебаний, который передает колебания на шарошку и далее вибрационная нагрузка передается на твердые включения. Замена пассивных лезвийных шарошек на виброактивные возможна как в стартовом котловане, так и в кессонной камере во время проходки [11].Такое усовершенствование позволит повысить эффективность разрушения твердых включений [12], а также повысить скорость проходки.

Предложенными методами возможно совершенствование исполнительного органа не только проходческого комплекса Herrenknecht S-782, но и Herrenknecht S-441, применяемого для строительства эскалаторных тоннелей и имеющего аналогичный исполнительный орган. Благодаря вышеописанным методам совершенствования исполнительного органа возможно повышение эффективности разрушения твердых включений, снижение число аварийных выходов из строя породоразрушающих инструментов и как следствие повышение скорости проходки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дашко Р.Э.* Особенности инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга / Р.Э. Дашко, О.Ю. Александрова, П.В. Котюков, А.В. Шидловская // Развитие городов и геотехническое строительство, 2011, Т. 1, С. 1-47.
2. *Голицынский Д.М.* Строительство тоннелей и метрополитенов / Д.М. Голицынский, Ю.С. Фролов, Н.И. Кулагин [и др.]. Под ред. Д.М. Голицынского. - М.: Транспорт, 1989. - 319 с.
3. *Юнгмейстер Д.А.* Совершенствование работы исполнительного органа проходческого щита КТ1-5,6М / Д.Г. Лукин, Д.А. Юнгмейстер, А.И. Ячейкин, А.И. Исаев // Горный журнал, 2018.
4. Проходческая техника, открывающая новую эру для подземных транспортных систем. - Проспект «Херренкнехт тоннельсервис», 2007. - 20 с.
5. *Бреннер В.А.* Щитовые проходческие комплексы / В.А. Бреннер, А.Б. Жабин, М.М. Щеголевский [и др.]. – М.: Горная книга, 2009. – 360 с.
6. *Verzhanskiy A.P.* Mechanized complexes for roadway development at mines of «metrostroy» JSC (Saint Petersburg) / A.P. Verzhanskiy, D.A. Yungmeyster, S.A. Lavrenko, A.I. Isaev, A.V. Ivanov // Gornyi Zhurnal, 2014.
7. *Гульелметти В.* Механизированная проходка тоннелей в городских условиях. Методология проектирования и управления строительством / под ред. В. Гульелметти, П. Грассо, А. Махтаба, Ш. Сю. - “Geodata S.p.A.”, Турин, Италия – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – 602 с.
8. herrenknecht.com.
9. *Иванов К.И.* Техника бурения при разработке месторождений полезных ископаемых / К.И. Иванов, В.А. Латышев, В.Д. Андреев, 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра, 1987. - 272 с.

10. *Д.А. Юнгмейстер*. Использование сменных исполнительных органов комплекса для проведения специальных выработок в шахтах «Метрострой» СПб / Д.А. Юнгмейстер, С.А. Лавренко, А.И. Исаев // Труды 9-ой Международной Конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. Минск, 2013, Т. 1, С. 454-457.
11. *Юнгмейстер А.Д.* Анализ вариантов модернизации станков шарошечного бурения с погружным пневмоударником / Д.А. Юнгмейстер, И. Крупенский, С.А. Лавренко // Записки горного института, 2018, Т. 231.
12. *Iungmeister D.A.* Improvement of shock system of hydraulic drill to increase drilling intensification / D.A. Iungmeister, R.I. Korolev, V.A. Karlov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.

СОДЕРЖАНИЕ

Абрамов Иван Александрович
УНИФИЦИРОВАННЫЕ РОБОТИЗИРОВАННЫЕ ВЫЕМОЧНЫЕ МОДУЛИ ИЗБИРАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ДОБЫЧИ ПЛАСТОВЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ…… 3
Авдеев Алексей Михайлович
АНАЛИЗ КИНЕМАТИЧЕСКИХ СХЕМ ТЯГОВОГО УСТРОЙСТВА ФРИКЦИОННОГО ПРИВОДА СКИПОВОГО ПОДЪЕМНИКА……. 8
Аладьин Михаил Евгеньевич
МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ ПРИ НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ РЕЖИМАХ……... 12
Алиева Лейла
НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА ПО КРИТЕРИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ…….. 17
Анакин Ярослав Вячеславович
УЗОРНАЯ СВАРКА МЕТАЛЛОВ В ДЕКОРАТИВНО-ПРИКЛАДНОМ ИСКУССТВЕ…….. 22
Андреева Анна Александровна
ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕЛКОЙ ДРЕВЕСИНЫ ПОСЛЕ ГЛУБОКОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ……. 26
Аникина Мария Алексеевна, Гарбузова Юлия Сергеевна, Жигайлова Диана Александровна
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛИ 12ХНВА ПОСЛЕ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ ЗАКАЛКИ И НИЗКОГО ОТПУСКА……. 31
Арсланова Фатима Гаджиевна, Каменев Егор Николаевич, Одинцов Егор Евгеньевич
ИНТЕГРАЦИЯ МИКРОПЛАЗМЕННОГО СЕНСОРА CES В НЕФТЕГАЗОВУЮ И ГОРНОДОБЫВАЮЩУЮ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ……. 34
Ахмеров Эрик Викторович
ПОДЗЕМНОЕ ХРАНИЛИЩЕ СПГ В ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ…… 38
Бабырь Кирилл Валерьевич
СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЗАЩИТЫ ОТ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ ПРЕДПРИЯТИЙ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА……... 42
Безматерных Анастасия Владимировна
ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ФРЕЗЕРА МТФ-14... 48
Белова Светлана Александровна, Наумова Анна Ярославна
ДИАГНОСТИКА ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ С СИСТЕМОЙ АКТИВНОГО МАГНИТНОГО ПОДВЕСА…… 52
Богданов Иван Андреевич
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС С МНОГОФАЗНЫМ ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ ПЕРВИЧНОГО ЭНЕРГОНОСИТЕЛЯ... 56
Боева Анастасия Александровна
ИММОБИЛИЗАЦИЯ «КРАСНОГО ШЛАМА» АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ИЗ НЕГО СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ…….. 60

Борисов Михаил Алексеевич
ПРИМЕНЕНИЕ ФИНИШНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ МАКСИМАЛЬНУЮ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПОРШНЕВОЙ ПАРЫ МАСЛОЗАПОЛНЕННОГО ПОДВЕСНОГО КОМПРЕССОРА…… 64
Бородкин Эдуард Олегович
УСТРОЙСТВО ДЛЯ СБОРА ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ КОНКРЕЦИЙ С МЕХАНИЗМОМ ШАГАНИЯ…….. 69
Бравцев Антон Владиславович
ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ОПОР СКОЛЬЖЕНИЯ БАРАБАННОЙ МЕЛЬНИЦЫ……... 77
Ваганенкова Вера Аркадьевна, Соломатина Юлия Сергеевна
СПОСОБЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЙ БАЗЫ ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В РОССИИ…….. 81
Вагапова Эльнара Абдуллаевна
ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА СГУЩЕНИЯ ТОРФЯНОЙ ПУЛЬПЫ……... 85
Важенин Андрей Юрьевич
ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ СФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ……. 89
Васильков Олег Сергеевич, Ивершина Валентина Александровна, Федоров Никита Николаевич
ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ГИБРИДНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ……. 94
Васинкина Екатерина Юрьевна, Юдина Виолетта Олеговна, Сивак Антон Сергеевич
СОЗДАНИЕ ИНДУКЦИОННО САМОЗАЛЕЧИВАЮЩЕГОСЯ АСФАЛЬТОВОГО ПОКРЫТИЯ…….. 100
Васинкина Екатерина Юрьевна, Юдина Виолетта Олеговна, Сивак Антон Сергеевич
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ СВЧ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОЦЕСС ОТВЕРЖДЕНИЯ ЭПОКСИДНЫХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ…….. 104
Васинкина Екатерина Юрьевна, Юдина Виолетта Олеговна, Сивак Антон Сергеевич
ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ МАТРИЦЫ НАПОЛНЕННОЙ ДИСПЕРСНЫМ БАЗАЛЬТОМ…… 108
Ватаманюк Станислав Андреевич
ТЕХНОЛОГИЯ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ «ШАТУН» ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ…….. 112
Вихляев Дмитрий Викторович
АНАЛИЗ СПОСОБОВ ДОБЫЧИ ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ НА ЕСТЕСТВЕННЫХ ТОРФЯНЫХ ЗАЛЕЖАХ……... 117
Вишняков Георгий Юрьевич, Чайковский Никита Александрович
МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕХАНИЗМА РАЗГРУЗКИ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ… 121
Власов Алексей Андреевич
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОСНАЩЕНИЕ ОПЕРАЦИИ СБОРКИ ДЕТАЛИ «КОЛОДКА» МЕХАНИЗМА ТОРМОЗА НЕСУЩЕГО ВИНТА ВЕРТОЛЁТА……. 125

Володина Яна Александровна,Кузнецов Владислав Андреевич,Таранина Ольга Александровна
РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ…… 130
Выдрова Алиса Александровна, Малькова Яна Михайловна
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПО ТРЕХПРОВОДНОЙ ЛИНИИ ПОСТОЯННОГО ТОКА, РАБОТАЮЩЕЙ В РЕЖИМЕ ПОВТОРНО-КРАТКОВРЕМЕННОЙ ПЕРЕГРУЗКИ ПРОВОДОВ ПО ТОКУ……... 134
Высоцкая Мария Сергеевна, Коковина Светлана Александровна
ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОМФОРТНОСТИ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПАССАЖИРОВ ГОРОДСКИМ АВТОБУСНЫМ ТРАНСПОРТОМ…… 138
Гарифуллин Дамир Раилевич
ПРЕДПОСЫЛКИ РАЗРАБОТКИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛЕВОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ……. 142
Герра Диас Даниель, Яковлева Эмилия Владимировна.
СИСТЕМА СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ ДЛЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ БАТАРЕЙ В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ КУБА……... 146
Горшков Илья Валерьевич
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПОВЕРХНОСТИ И КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ НАПРАВЛЯЮЩИХ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЖУЩЕЙ КЕРАМИКИ…….. 150
Григорьев Егор Витальевич
КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА УПРОЧНЯЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ОСНОВЕ РЕГИСТРАЦИИ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН……... 155
Грицко Арина Руслановна
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ И ТОЧНОСТИ ФОРМ ДЕТАЛЕЙ ГРЕБНОГО ВАЛА ЛИНИЙ ВАЛОПРОВОДА МОРСКИХ СУДОВ И ЛЕДОКОЛОВ НА ОСНОВЕ ВИБРОУСТОЙЧИВОЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ…….. 159
Гуревич Илья Андреевич
ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ…….. 164
Джаббаров Шахаддин Нураддинович
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДИФФУЗИОННОГО НАСЫЩЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ РАСПЛАВОВ ЛЕГКОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ… 170
Джафаров Камал Азимович
СОВМЕЩЕНИЕ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ШТАБЕЛИРОВАНИИ ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ…… 174
Дмитриев Денис Юрьевич
АВТОМАТИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ…. 179
Дранова Алина Юрьевна
АНАЛИЗ ЭТАЛОННОЙ БАЗЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ…… 182
Дроботухин Владислав Кириллович
АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ХОНИНГОВАНИЯ ЦИЛИНДРОВЫХ ГИЛЬЗ ДВС…… 187
Евдокименко Андрей Олегович
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ

«ПОРШЕНЬ» ДВИГАТЕЛЯ АВТОМОБИЛЯ «КАМАЗ»……. 192
Егошина Елена Вячеславовна
АНАЛИЗ ЭТАЛОННОЙ БАЗЫ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ОБЛАСТИ НАНОМЕТРИИ…….. 196
Елихин Александр Сергеевич
ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ УНИФИЦИРОВАННЫХ ВЫЕМОЧНЫХ МОДУЛЕЙ ДЛЯ ДОБЫЧИ УГЛЯ……... 200
Замараев Антон Геннадьевич, Никитина Вера Олеговна
ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ЛАЗЕРНОЙ МАРКИРОВКИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОРРОЗИОННОСТОЙКОЙ СТАЛИ…….. 205
Иванов Георгий Андреевич
ПОВЫШЕНИЕ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ ЗЕРКАЛЬНО-ТЕНЕВОГО МЕТОДА УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ С ЭКВИДИСТАНТНЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ…….. 209
Иванов Егор Иванович
МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КЕРАМИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА…… 214
Иванова Татьяна Сергеевна
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АВТОМАТИИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА СИЛОВОГО МАСЛОНАПОЛНЕННОГО ТРАНСФОРМАТОРА…….. 218
Ивденко Екатерина Дмитриевна
НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОМАТЕРИАЛЫ В СОВРЕМЕННОМ МАШИНОСТРОЕНИИ……. 227
Ильин Александр Владимирович, Гадеев Роберт Азатович
ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ИМИТАЦИОННОГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ……. 231
Казаков Денис Юрьевич
МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭКСТРУЗИОННОЙ ЛИНИИ ПРОИЗВОДСТВА ЛИСТОВОГО ПЛАСТИКА С УСТАНОВКОЙ БЕСКОНТАКТНОГО ТОЛЩИНОМЕРА…….. 236
Казначеевская Татьяна Викторовна
УСТРОЙСТВО ОСУШЕНИЯ ВОЗДУХА ДЛЯ ПОМЕЩЕНИЙ С ПОВЫШЕННОЙ ВЛАЖНОСТЬЮ……. 243
Камышьян Альберт Михайлович
ВАРИАНТЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИИ КАРЬЕРНОГО АВТОСАМОСВАЛА…….. 248
Каныгина Екатерина Дмитриевна
ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ МЕТОДАМИ ОПТИЧЕСКОГО И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ……... 252
Карелин Михаил Викторович
ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКОМ КОНТРОЛЕ РЕЛЬСОВ……. 256
Карякина Екатерина Денисовна
АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА…….. 260
Клименко Даниил Андреевич
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ «ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ» ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ГОРОДСКОГО НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТА….. 265
Климов Сергей Геннадьевич
ФОРМИРОВАНИЕ ПОВЕХНОСТНОГО СЛОЯ ПРИ ПОВЕРХНОСТНОМ

УПРОЧНЕНИИ…….. 267
Князькина Валерия Ивановна
ИЗМЕНЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА ТРЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ ТИПА МАСЛА ДЛЯ ТРАНСМИССИИ ГОРНОЙ МАШИНЫ…… 272
Королев Роман Иванович, Соболева Полина Дмитриевна
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И МОДЕРНИЗАЦИЯ ПОГРУЖНОГО ПНЕВМОУДАРНИКА В БУРОВМ СТАНКЕ СБШ-250……... 276
Краснова Людмила Евгеньевна
ПОЛУЧЕНИЕ ТОПЛИВО-ПЛАВИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТОРФА В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ…… 284
Кривокрысенко Елена Анатольевна, Попов Григорий Геннадьевич, Касьянов Александр Владиславович
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СКАНЕРА МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТОЙКОСТИ ТРУБОПРОВОДНЫХ СТАЛЕЙ К «РУЧЕЙКОВОЙ» КОРРОЗИИ……. 288
Кудинова Ирина Владимировна, Малюшин Иван Михайлович
СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ПОЛУЧАЕМОЙ ЦВЕТОВОЙ ГАММЫ НА МЕТАЛЛАХ……... 293
Кузнецов Павел Анатольевич
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ АКТИВНО-АДАПТИВНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА…….. 297
Куксов Николай Александрович, Сафонова Полина Алексеевна
АВТОНОМНЫЙ КОМПЛЕКС ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ УТЕЧЕК НЕФТИ В ТРУБОПРОВОДАХ……... 304
Лаврик Александр Юрьевич
МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АВТОНОМНОГО КОМПЛЕКСА ЭЛЕКТРОПОТРЕБИТЕЛЕЙ И КОМБИНИРОВАННОЙ ВЕТРО-СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ, РЕЗЕРВИРУЕМОЙ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРАМИ И АККУМУЛЯТОРАМИ…….. 308
Лаврик Александр Юрьевич, Максимов Никита Алексеевич
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА КОМБИНИРОВАННОЙ РЕЗЕРВИРУЕМОЙ ВЕТРО-СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В УСЛОВИЯХ ЯКУТИИ…….. 311
Лапшина Полина Дмитриевна, Курилова Софья Павловна
КОНТРОЛЬ УРОВНЯ CO_2 В ПОМЕЩЕНИИ С ПОМОЩЬЮ УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ARDUINO UNO……. 314
Лапынин Павел Сергеевич
КОНТРОЛЬ ПОДЛИННОСТИ НОВЫХ СТРАХОВЫХ ПОЛИСОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ…….. 318
Лугвищик Арина Сергеевна
АРХИМАТЫ В БЛАГОУСТРОЙСТВЕ КУСТОВЫХ ПЛОЩАДОК…….. 322
Лукашин Илья Андреевич, Коптев Владимир Юрьевич
ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ КАРЬЕРНОГО САМОЗАГРУЖАЮЩЕГОСЯ АВТОСАМОСВАЛА НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ……. 326
Лыков Юрий Васильевич, Насонов Михаил Юрьевич, До Дык Чонг
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ЭКСКАВАТОРОВ ПО ИСТЕЧЕНИИ НОРМАТИВНОГО СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ…… 330
Макашова Софья Алексеевна
ПРОБЛЕМЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ В ОБЛАСТИ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА НЕФТЕПРОДУКТОВ…… 334

Макковеева Валерия Максимовна
ТЕХНОЛОГИЯ ПОДГОТОВКИ КРОМОК ИЗДЕЛИЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПЕРЕД СВАРКОЙ……. 338
Максимов Дмитрий Дмитриевич
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ ДВС…… 342
Малеванный Дмитрий Владимирович
СПОСОБ ОТРАБОТКИ ГЛУБОКОВОДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ КОНКРЕЦИЙ (ЖМК) ГРУНТОЗАБОРНЫМ УСТРОЙСТВОМ В ЗОНЕ РОССИЙСКОГО РАЗВЕДОЧНОГО РАЙОНА…… 347
Матреничев Кирилл Геннадьевич
МЕТОД ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТУПЕНЧАТЫХ ВАЛОВ ПРИ ПОМОЩИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СВАРКИ……... 351
Мартыненко Яна Владимировна
РАСЧЕТ ЭЖЕКТОРНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ СБРОСА ПАРОВ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА (СПГ)…… 356
Мартьянов Денис Сергеевич
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА ПРИ ПОИСКЕ ТВЕРДЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПАРАФИНА В НЕФТЕПРОВОДЕ…….. 360
Матушов Семён Сергеевич
ПРОБЛЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДА СПГ В ТРУБОПРОВОДАХ……. 365
Минин Александр Олегович
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ЛОКАЛЬНОГО ТЕРМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ЗАГОТОВОК…….. 369
Мишин Вячеслав Витальевич
АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ГОРНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ…….. 374
Мовчан Игорь Борисович, Яковлева Александра Анатольевна, Филина Татьяна Владимировна, Михеев Артем Алексеевич
МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТКЛИКА ДЕФЕКТА В СТРУКТУРЕ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ…….. 379
Молоткова Екатерина Владиславовна
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ……. 384
Мотяков Николай Юрьевич
К ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ МАШИНИСТА НА НАДЕЖНОСТЬ ЭКСКАВАТОРА КАК ЭРГАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ…… 388
Наумова Анна Ярославна, Белова Светлана Александровна
АВТОМАТИЗАЦИЯ РЕМОНТА ПОДВОДНОГО ГАЗОПРОВОДА САХАЛИН – ХОККАЙДО……... 392
Нгуен Ван Суан
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО ГРУППОВАЯ СХЕМА РАССТАНОВКИ РЕЗЦОВ ШНЕКОВЫХ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ…… 396
Невзоров Данил Николаевич
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ БЕЛАЗ НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ…… 400
Несторовски Благоя
ВЫБОР СТРАТЕГИИ ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ШАРОВОЙ КОНЦЕВОЙ ФРЕЗОЙ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ…….. 404

Никитина Вера Олеговна, Кончус Дарина Александровна
СОЗДАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДИФФУЗИОННОГО ОСАЖДЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ИЗ РАСПЛАВОВ ЛЕГКОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ…….. 409
Никифоров Александр Алексеевич
АВТОМАТИЗАЦИЯ СБОРКИ УЗЛОВ ГИДРОГРАФИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ……. 414
Новоселов Евгений Павлович
ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГАЗОБАЛЛОННЫХ АВТОМОБИЛЕЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РАЗВИТИЯ, НА ПРИМЕРЕ ПРЕДПРИЯТИЯ «ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ СУРГУТ»……... 418
Осичева Елизавета Андреевна
АНАЛИЗ ЭТАЛОННОЙ БАЗЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ ПАРКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ…… 427
Осминко Дмитрий Александрович
ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПРОЦЕССА РАСТАЧИВАНИЯ ВНУТРЕННИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ СВАРНЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ РАЗНОРОДНЫХ СТАЛЕЙ……...…….. 430
Пермякова Екатерина Константиновна
РЕШЕНИЯ ПО ОСУЩЕСТВЛЕНИЮ ТОРФОДОБЫЧИ ИЗ ОБВОДНЕННОЙ ЗАЛЕЖИ……. 435
Петров Илья Сергеевич
СНИЖЕНИЕ КОММУТАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ В СИЛОВОМ КЛЮЧЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АКТИВНОЙ ДЕМПФИРУЮЩЕЙ ЦЕПИ…….. 440
Понкратова Валерия Викторовна
ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ, ДИАМЕТРА И МАРКИ СТАЛИ ГАЗОПРОВОДА НА ИНТЕНСИВНОСТЬ РАЗВИТИЯ КОРРОЗИОННОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ……. 444
Пономарева Арина
АНАЛИЗ ЭТАЛОННОЙ БАЗЫ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ РАСХОДА ГАЗА…… 448
Попова Юлия Михайловна
ТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА RAIL-VEYOR. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ... 451
Прохоров Дмитрий Алексеевич
ПОИСК УТЕЧЕК ПРИРОДНОГО ГАЗА В СЕТЯХ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ГАЗОПОТРЕБЛЕНИЯ……... 455
Пудкова Тамара Валерьевна, Пастухова Анастасия Андреевна, Левчук Денис Иванович
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ПОДХОДОВ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПОЛНОЙ МОЩНОСТИ ПРИ НАЛИЧИИ В СЕТИ ВЫСШИХ ГАРМОНИК…… 459
Растворова Юлия Владимировна, Мордвинцева Юлия Алексеевна, Коломацкий Даниил Александрович
РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ ВКЛАДА ИСТОЧНИКОВ ВЫСШИХ ГАРМОНИК В ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ…….. 465
Родионова Марина Сергеевна
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЦЕПЛЕНИЯ ПРИВОДНЫХ КОЛЕС ТЯГОВОГО УСТРОЙСТВА АГРЕГАТОВ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА…….. 471
Рузманов Александр Юрьевич
ПОЛУЧЕНИЕ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ

ИЗБЫТОЧНОЙ ЭНЕРГИИ МАГИСТРАЛЬНОГО ПОТОКА НА ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СТАНЦИЯХ…….. 475
Рыбаков Александр Сергеевич
УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ В РАБОТОСПОСОБНОМ СОСТОЯНИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА…… 481
Сафин Рамиль Альбертович
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОДГОТОВКИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ ТОКАРНО-ФРЕЗЕРНЫХ ОБРАБАТЫВАЮЩИХ ЦЕНТРОВ……... 487
Сафиуллин Равиль Нуруллович, Морозов Евгений Викторович
МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕВОЗОК ТЯЖЕЛОВЕСНЫХ ГРУЗОВ С УЧЕТОМ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ТРАНСПОРТНОЙ РАБОТЫ АТС…… 491
Сафрончук Кристина Альбертовна
МОБИЛЬНЫЙ СМАЗОЧНО-ЗАПРАВОЧНЫЙ АГРЕГАТ, КАК ЭЛЕМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ГОТОВНОСТИ КАРЬЕРНОЙ ТЕХНИКИ……. 496
Семенов Герман Эдуардович
СПОСОБ СОВЕРШЕНСТОВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ «ТРОЙНИК» ТЕПЛООБМЕННИКА АТОМНОГО ЛЕДОКОЛА……... 500
Семенюк Александра Вадимовна, Коптева Александра Владимировна
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ПАРАФИНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В МАГИСТРАЛЬНОМ НЕФТЕПРОВОДЕ…….. 505
Сенчило Никита Дмитревич
АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ СОЗДАНИЯ САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩЕЙСЯ СЕТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ……. 509
Сердюк Никита Александрович, Кончус Дарина Александровна
ПРОМЫШЛЕННЫЕ ФЛЮСЫ В ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ЛЕГКОПЛАВКИХ РАСПЛАВОВ…….. 513
Сериков Владимир Александрович, Шерстенникова Ирина Александровна
ПРОБЛЕМЫ ВЫСШИХ ГАРМОНИК И ИХ ОГРАНИЧЕНИЕ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ РАЗЛИЧНОГО НАПРЯЖЕНИЯ…….. 517
Силкин Алексей Андреевич, Ячнев Владислав Владимирович, Варфоломеев Алексей Сергеевич
АНАЛИЗ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕМ ПО ШОССЕЙНЫМ ДОРОГАМ И В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОГО ТРАФИКА……... 521
Скамьин Александр Николаевич, Растворова Юлия Владимировна, Добуш Василий Степанович
МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СЕТИ С УЧЕТОМ ФАЗОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЫСШИХ ГАРМОНИК…… 527
Соловьев Иван Васильевич
ПРИМЕНЕНИЕ ПЛУНЖЕРНЫХ ДОЗИРОВОЧНЫХ НАСОСОВ В БУРОВЫХ УСТАНОВКАХ…….. 532
Сорокина Ольга Алексеевна
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА…….. 537
Сулейман Таймур-Фарис Мухамедович
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ……. 541
Султанбеков Радэль Рамилевич
СОХРАНЕНИЕ КАЧЕСТВА ТОПЛИВ ДЛЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

ОБОРУДОВАНИЯ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА……... 545
Теренина Ольга
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИЕМА СИГНАЛОВ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ СВЯЗИ…… 549
Токарев Сергей Дмитриевич, Коптев Владимир Юрьевич
ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ…… 554
Трошина Елена Юрьевна
3D-МОДЕЛЬ В ПРОИЗВОДСТВЕ ХУДОЖЕСТВЕННОЙ КЕРАМИКИ…… 559
Уразбахтин Рустам Юсуфович
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ СПАСАТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ…… 562
Ушкова Таисия Олеговна, Коптева Александра Владимировна
ОПТИМИЗАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРООБОГРЕВА НЕФТЯНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПОСРЕДСТВОМ ВНЕДРЕНИЯ РАДИОИЗОТОПНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ……. 567
Фадеев Дмитрий Владимирович
ШАГАЮЩАЯ ПЛАТФОРМА ПЛАВУЧЕГО КОМПЛЕКСА ДОБЫЧИ ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ……... 572
Федоров Александр Сергеевич
АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ПОЛЕВОЙ СУШКИ ОКУСКОВАННОЙ ПРОДУКЦИИ…… 576
Федоткина Анастасия Николаевна
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛЕНОЧНЫХ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ОБОГРЕВА ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ……... 579
Филипенко Ирина Анатольевна
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ…… 585
Худякова Ирина Николаевна
СТРУКТУРНЫЕ РЕШЕНИЯ ПЛАВУЧЕГО КОМПЛЕКСА ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ……. 589
Ценев Андрей Николаевич
ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ ИЗОЛЯЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДАХ……. 594
Цыулева Ксения Григорьевна, Гаращенко Жана Максимовна
ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ СЕКЦИЙ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ ОЧИСТНОГО МЕХАНИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА…….. 598
Чиркова Ольга Сергеевна
РАЗРАБОТКА ФЛЮСА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПОВЕРХНОСТИ ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЛЕГКОПЛАВКОГО РАСПЛАВА……. 603
Чумакова Карина Александровна, Малюшин Иван Михайлович
ВЛИЯНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ НА КОНТРАСТНОСТЬ ЛАЗЕРНОЙ МАРКИРОВКИ…… 608
Шарафутдинова Гузель Расимовна, Михайлов Андрей Владимирович, Сердюк Никита Александрович
ПРИМЕНЕНИЕ РАСПЛАВОВ СОЛЕЙ В ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ИЗ ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РАСПЛАВОВ…… 612
Шерстнева Анна Олеговна
ПРИМЕНЕНИЕ МИКРООБРАЗЦОВОГО МЕТОДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛА ДЛИТЕЛЬНО ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ТРУБОПРОВОДОВ…… 616
Ячейкин Алексей Игоревич
ВИБРОАКТИВНЫЙ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩИЙ ИНСТРУМЕНТ

ТОННЕЛЕПРОХОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА……. 621

Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2019
И 665 Сборник статей и тезисов. Секция «Круглый стол молодых ученых» / Санкт-Петербургский горный университет. СПб. 2019. 634 с. (Международный семинар, посвященный 100-летию создания первого в России горно-электромеханического факультета. 24 апреля 2019 г.).

ISBN

УДК 656; 621
ББК 39:34-08:3,2

Научное издание

ИННОВАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГОРНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИКИ: IPDME-2019

МЕЖДУНАРОДНЫЙ СЕМИНАР, ПОСВЯЩЕННЫЙ 100-ЛЕТИЮ СОЗДАНИЯ ПЕРВОГО В РОССИИ ГОРНО-ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА

24 апреля 2019 г.

Сборник статей и тезисов
Секция «Круглый стол молодых ученых»

Статьи и тезисы публикуются в авторской редакции
Печатается с оригинал-макета, подготовленного на Электромеханическом факультете Санкт-Петербургского горного университета

Лицензия XX № XXXXX от XX.XX.XX

Подписано к печати XX.XX.XXXX. Формат 60×84/8. Уч.-изд.л. XX
Тираж 200 экз. Заказ XXX. С XX

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес РИЦ Санкт-Петербургского горного университета:
199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2