МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОСИИ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

VII Международная научно-практическая конференция

«ИННОВАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГОРНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИКИ: IPDME-2020»

23-24 апреля
2020 г.

сборник тезисов
секция
«Круглый стол молодых ученых»

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2020

УДК 620; 621; 622; 656; 681
ББК 39:34-08:3,2

В сборнике представлены в авторской редакции статьи и тезисы докладов участников секции «Круглый стол молодых ученых» VII Международной научно-практической конференции «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2020», состоявшейся 23-24 апреля 2020 г. в Санкт-Петербургском горном университете, г. Санкт-Петербург, Россия.

ISBN 978-5-94211-913-3 © Санкт-Петербургский горный университет

УДК 622.684

АБДУЛАЕВ Э.К.
Санкт-Петербургский горный университет

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ФАКТОРО ВЛИЯЮЩИХ НА РЕСУРС КРУПНОГАБАРИТНЫХ ШИН

Аннотация. В статье ставится задача рассмотреть факторы, влияющие на ходимость шин и провести их априорное ранжирование для определения степени значимости каждого. Эта проблема важна для предприятий, так как шины составляют большую часть затрат при эксплуатации пневмоколесной техники.

Ключевые слова: априорное ранжирование, шины, износ, ходимость.

ABDULAEV E.K.
Saint-Petersburg Mining University,
postgraduate student

ANALYSIS AND EVALUATION OF FACTORS THAT AFFECT THE LIFE OF LARGE TIRES

Abstract. The aim of the article is to consider the factors affecting the tire walking and conduct their a priori ranking to determine the degree of importance of each. This problem is important for enterprises, as tires make up a large part of the costs in the operation of pneumatic equipment.

Keywords: a priori ranking, tires, wear, tire mileage.

Важнейшим технологическим процессом, определяющим эффективность разработки месторождения, является транспортирование горной массы. Доля автотранспортных затрат в общей себестоимости добычи открытым способом на российских горнодобывающих предприятиях существенна и достигает по мере роста глубины карьеров (разрезов) 70 %.

При использовании большегрузных карьерных автосамосвалов, наибольшие эксплуатационные затраты приходятся на дизельное топливо (50-55 %)и крупногабаритные шины (КГШ) (20-25%). Поэтому эффективными с точки зрения отдачи будут мероприятия по оптимизации данных затрат.

Ходимость крупногабаритных шин зависит от множества факторов, а для выявления наиболее значимых и влияющих на ходимость шин было проведено априорное ранжирование факторов. Для этого предложено использование известных способов экспериментального отсеивания факторов, предусматривающие проведение серии опытов и выбор значимых факторов по результатам этих опытов [4].

Для применения предложенного метода при проведении априорного ранжирования были опрошены сотрудники компании СУЭК в количестве 34 человек (рис. 1). Каждому эксперту была предоставлена анкета со следующим списком факторов:

1. Давление в шинах;
2. Поверхность дороги;
3. Плечо транспортирования;
4. Скорость движения;
5. Температура шины;

6. Водитель;
7. Нагрузка на шину;
8. Выбор типа шин.

Таблица 1

Факторы, влияющие на износ

Эксперты (СУЭК)	Ранги по факторам							
	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8
1	2	1	8	7	3	6	4	5
2	3	2	8	7	4	5	6	1
3	3	1	7	8	4	2	6	5
4	2	8	3	4	1	5	6	7
5	1	6	7	5	3	8	2	4
6	2	1	8	5	4	7	3	6
7	1	3	6	5	7	8	2	4
8	1	3	8	6	4	5	2	7
9	1	2	4	5	8	6	3	7
10	1	4	2	8	5	6	3	7
11	3	1	5	6	2	8	4	7
12	3	1	2	4	7	8	6	5
13	2	1	8	6	3	5	4	7
14	1	5	8	6	7	2	4	3
15	4	1	7	5	6	2	3	8
16	1	4	3	5	2	6	7	8
17	1	2	9	5	4	6	3	8
18	7	1	3	5	6	4	2	8
19	1	3	6	4	7	8	2	5
20	3	5	8	7	1	4	2	6
21	1	5	7	8	2	3	4	6
22	2	1	5	6	4	8	3	7
23	1	3	5	6	7	4	2	8
24	3	2	4	6	5	8	7	1
25	3	2	6	8	7	4	5	1
26	3	2	8	7	6	1	4	5
27	1	4	8	5	2	7	3	6
28	1	6	8	7	3	4	2	5
29	1	4	6	3	7	8	2	5
30	3	4	6	5	2	1	7	8
31	2	7	6	5	1	8	4	3
32	3	2	5	6	7	8	4	1
33	1	2	7	5	8	4	6	3
34	1	8	7	4	2	5	6	3
Сумма рангов	69	107	208	194	151	184	133	180
Отклонение суммы рангов от средней суммы рангов	84,25	46,25	-54,75	-40,75	2,25	-30,75	20,25	-26,75
Квадраты отклонение	7098,06	2139,06	2997,56	1660,56	5,06	945,56	410,06	715,56

Группа экспертов состояла из водителей, начальников автоколонн и бригадиров, которые выделили основные, по их мнению, факторы, влияющие на износ (табл. 1).

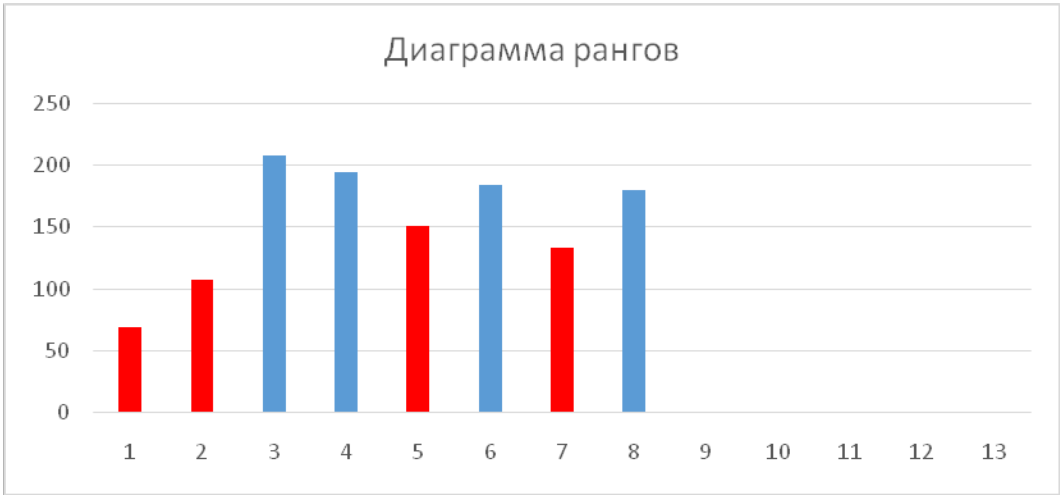


Рисунок 1 - Диаграмма рангов группы экспертов

Группа экспертов выделяет несколько основных факторов влияющих на ресурс шин, такими факторами являются: давление в шинах, поверхность дороги, нагрузка на шину, температура шины.

Вопрос ходимости шин в зависимости от группы рассматриваемых факторов недостаточно изучен и является актуальным с учетом экономических затрат на стоимость и эксплуатацию шин, в т.ч. КГШ в машинах горного производства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зеночкин М.Ю.* Система учета и отслеживание крупногабаритных шин как важнейшее условие эффективного управления шинным хозяйством в горнодобывающей промышленности [Текст] / М.Ю. Зеночкин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 11. – С. 56-64.
2. Руководство по эксплуатации крупногабаритных и сверхкрупногабаритных шин радиальной и диагональной конструкции [Текст]. – Республика Беларусь, Бобруйск: тип. Транстэкст, 2009. – 35 с.
3. Крупногабаритные шины: руководство по эксплуатации Yokohama [Текст]: Переведено в России, ООО «Йокохама Рус», 2012. – 90 с.
4. Априорное ранжирование факторов / «Хабаровский государственный технический университет». – Хабаровск: издательство ХГТУ, 2004.

УДК 622.338:623.23

АБДУРАЗАКОВ Х.Ф.
Санкт-Петербургский горный университет

ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ЭФФЕКТИВНОЙ РАЗГРУЗКЕ СМЕРЗШЕГОСЯ ГРУЗА ИЗ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПОЛУВАГОНОВ

Аннотация. В настоящей статье рассмотрены основные прогрессивные решения, заложенные в технологию разрушения смерзшегося сыпучего груза в железнодорожных полувагонах перед его разгрузкой в зимнее время. При низких температурах повышение эффективности выгрузки смерзшихся грузов из грузовых полувагонов является актуальным направлением для исследований. Разработана технологическая схема по эффективной выгрузке смерзшегося груза из железнодорожных полувагонов, которая включает в себя шесть основных этапов. Для каждого этапа рассмотрены типы оборудования. Применение описанных технологий позволит снизить повреждаемость грузовых полувагонов, увеличить пропускную способность пунктов разгрузки угля, сократить простои вагонов.

Ключевые слова: разгрузка смерзшегося груза, полувагон, виброрыхлительная установка, гараж-размораживатель, вагоноопрокидыватель, дробильно-фрезерная машина, бурорыхлительная установка, восстановление сыпучести.

ABDURAZAKOV KH.F.
Saint-Petersburg Mining University

BASIC TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR EFFECTIVE UNLOADING FROZEN LOAD FROM RAILWAY GONDOLAS

Abstract. This article discusses the main progressive solutions embedded in the technology for the destruction of frozen bulky cargo in railway gondola cars before unloading it in the winter. At low temperatures, improving the efficiency of unloading frozen goods from gondola is an urgent area for research. A flowsheet has been developed for the effective unloading of frozen load from railway gondolas, which includes six main stages. Types of equipment are considered for each stage. The application of the described technologies will reduce the damage to freight open wagons, increase the throughput capacity of unloading points and reduce downtime.

Keywords: loading-out offrozen load, gondola, vibrating ripper, defrosting house, dumping machine, disintegrate-milling machine, drill-ripping machine, restoration of flowability.

При эксплуатации горно-перерабатывающих предприятий выполняются большие объемы погрузочно-разгрузочных работ. При этом наиболее сложной является разгрузка грузов, потерявших свою сыпучесть вследствие смерзания в железнодорожных полувагонах. Вполне очевидно, что для создания эффективной технологии разгрузки смерзшихся грузов, необходимо применение целого производственного комплекса, состоящего из технических средств. Однако, до последнего времени отсутствуют рекомендации, в которых рассмотрена технологическая схема в целом, позволяющие наиболее эффективно разгружать мерзлые грузы. Поэтому в рамках данной работы предпринята попытка разработать эффективную технологическую схему разгрузки смерзшихся и агрегированных

сыпучих грузов из железнодорожного транспорта посредством вагоноопрокидывателя.

Такая работа должна предварительно включать в себя весь комплекс исследований, начиная с определения механических свойств смерзшегося угля в зависимости от его влажности и температуры, а также удельной контактной прочности примерзания груза к стенкам вагона. Затем на базе этих данных можно выполнить корректное обоснование применения необходимых тепловых размораживающих методов и вибромеханических средств для разработки эффективной технологии разупрочнения смерзающегося угля и разгрузки его из полувагонов.

На базе проведенных исследований и результатов обобщения практического опыта была разработана технологическая схема эффективной разгрузки сыпучих, смерзающихся грузов (уголь, руда, концентрат, окатыши др.) из железнодорожных полувагонов с помощью вагоноопрокидывателя (рис. 1). Предложенная мною технологическая схема разрабатывалась, в основном, для разгрузки смерзшихся углей, однако она применима для любых других сыпучих грузов, перевозимых железнодорожным транспортом в холодное время года.

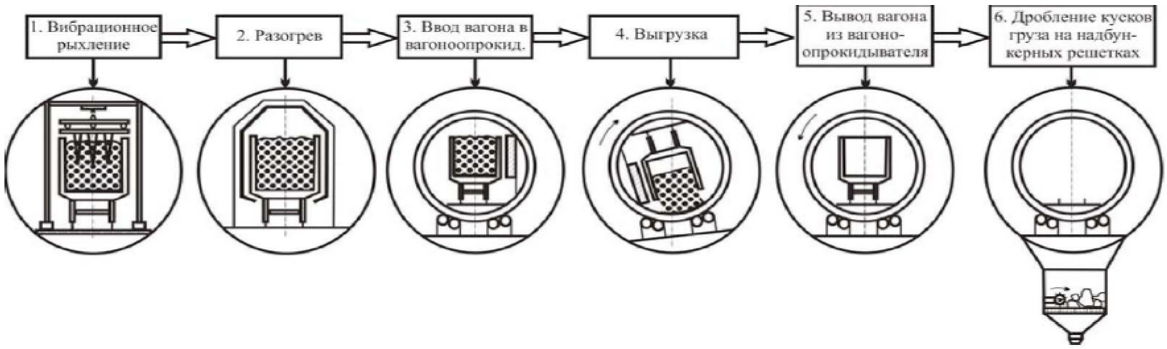


Рисунок 1 - Технологическая схема разгрузки

Технологическая схема, приведенная на рис. 1, включает в себя 6 основных элементов, выполнение которых является необходимым для выполнения эффективной и высокопроизводительной разгрузки смерзшихся сыпучих грузов из железнодорожных полувагонов при любой наружной отрицательной температуре воздуха. Для понимания сущности схемы далее рассмотрим основные технические средства и технологические приемы, соответственно, входящие конкретно в эти элементы технологической схемы:

1 – вибрационное рыхление мерзлого груза с помощью стационарных виброрыхлительных установок типа ВРУ или, в крайнем случае, при малой производительности переносных виброрыхлителей;

2 – разогрев полувагона с прорыхленным мерзлым грузом в гараже-размораживателе (тепляке);

3 – подача вагонов с разогретым и частично восстановившим свою сыпучесть грузом на вагоноопрокидыватель;

4 – выгрузка груза путем опрокидывания полувагона в вагоноопрокидывателе;

5 – вывод пустого полувагона из вагоноопрокидывателя для его зачистки, ремонта и собирания в, принятые технологией на данном предприятии, ставки железнодорожного состава;

6 – дробление, при необходимости, крупных агрегированных кусков груза, которые не проходят через отверстия в надбункерных решетках, вручную отбойными молотками, молотково-дробильными или дробильно-фрезерными машинами, например, типа ДФМ.

Ниже рассмотрим основные технические средства и технологические решения, которые хорошо зарекомендовали себя и могут применяться в элементах технологии

погрузочно-разгрузочного комплекса.

Стационарная виброрыхлительная установка (ВРУ), состоящая из 3-х вибромодулей, представляет собой металлическую конструкцию шириной в нижней части 5,3 м, длиной 12 м и высотой 12 м, состоящую из 2-х ярусов. ВРУ изображена на рис. 2.

Рисунок 2 - Стационарная виброрыхлительная установка

Вибромодули расположены с заданным интервалом между собой таким образом, чтобы не разрыхленные участки мерзлого груза между заходками имели незначительные размеры. Величина динамической силы регулируется количеством дебалансных масс вибровозбудителя, расчетными амплитудно-частотными характеристиками воздействия, а главное, выдержкой строго определенного соотношения между массами верхней рамы и всего вибромодуля, а также жесткостью связывающих нелинейных упругих связей.

Управление ВРУ осуществляет один оператор. Управление работой ВРУ может выполняться и в автоматическом режиме. Установка ж. д. полувагонов, их фиксация, управление отметками уровня подъема вибромодуля в вертикальной площади на верхнем положении и на нижнем регулируемом уровне разрушения смерзшегося груза рыхлящими штырями может выполняться системой автоматизации, состоящей из контролера, вращающегося определителя положения вибромодуля, контроллеров, датчиков, системы самопроверки, программного обеспечения и компьютерного оснащения. Для защиты работающих и самой ВРУ от вибрации, возникающей в процессе рыхления смерзшихся грузов, применена противовибрационная траверса, удерживающая вибромодуль, а опорные узлы выполнены с резиноэластичным амортизированием.

Вторым элементом технологической схемы (рис. 1) применяемым для разогрева разрыхленного смерзшегося груза в железнодорожных полувагонах используются специальные гаражи-размораживатели (тепляки). Тепляки предназначены для внутреннего долгого и пленочного быстрого оттаивания груза в полувагоне. Далее рассмотрим основные конструкции тепляков.

Конвективные тепляки (рис. 3) состоят из одной или нескольких секций с камерами оттаивания и машинного отделения для выработки и подачи в них теплоносителя. Смерзшийся груз в вагонах оттаивается в камерах секций тепляка различными видами теплоносителя. Конвективный тепляк (рис. 3) для оттаивания смерзшегося угля состоит из: 1 – вентилятора; 2 – машинного отделения; 3, 4 – коробов падающих и рециркуляционных; 5, 6 – рециркуляционных и падающих патрубков; 7 –

бетонных коробов; 8 – нагнетательных шахт; 9 – электродвигатель. В зависимости от пропускной способности тепляка секции сооружают длиной от 156 до 320 м, для одновременного размещения в них по 10 - 20 четырехосных или восьмиосных полувагонов. Обычно ширина каждой секции тепляка принимается 6 м, а машинного отделения 9 м.

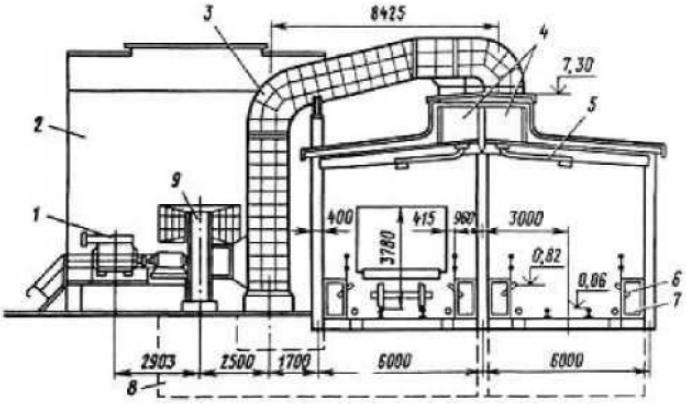


Рисунок 3 - Тепляк конвективного типа

Теплоноситель машинного отделения оборудуют специальными топками, соединенными воздухопроводящими каналами с камерами секций оттаивания и устройствами для зажигания газовоздушной смеси. Оттаивают смерзшуюся руду дымовыми газами, получаемыми от сжигания в топках смеси коксового и доменного газов. При этом продукты сгорания, имеющие температуру до 950 °С, поступают в смесительную камеру. Теплоноситель нагнетается в секции тепляка по металлическим трубопроводам, уложенным в бетонные каналы под полом. В камерах секций газовоздушная смесь распределяется при помощи соединенной с этими трубопроводами вертикальными отводами системы разводящих труб с размещенными на них через 2 м патрубками-соплами.

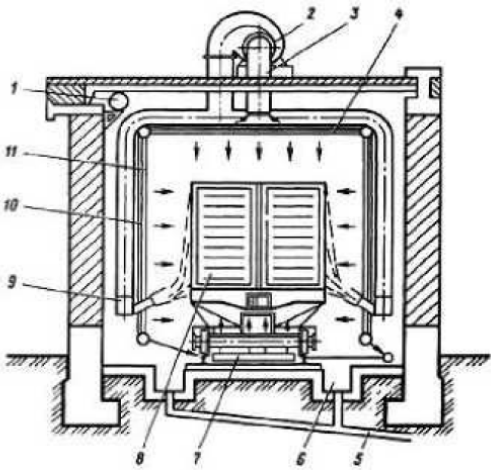


Рисунок 4 - Тепляк с комбинированным подводом тепла

Тепляк с комбинированным подводом тепла к железнодорожным полувагонам с размораживаемым грузом (рис. 4) состоит из следующих элементов: паропровода 1; вентилятора 2; всасывающего короба 3; потолочной панели 4; конденсатной магистрали 5; общей сточной магистрали 6; нижней панели 7; кузова вагона 8; напорных воздуховодов 9; отражательных экранов 10 и трубчатых панелей 11.

Типовой тепляк разделен на восемь самостоятельных теплоизлучающих секций длиной по 14 м. Каждая из них состоит из потолочной панели 4, боковых вертикально-трубчатых панелей 11, состоящих из монтажных блоков длиной 3 м, и нижних панелей 7, расположенных внутри железнодорожного пути. В секциях размещены паровые излучатели с площадями поверхности нагрева: потолочные – 82 м^2, боковые – 164 м^2 и нижние излучатели – 31 м^2.

Достаточно широко применяемыми в последнее время являются установки с газовыми инфракрасными излучателями для оттаивания смерзшихся угля, руды и других концентратов. Установка включает в себя: агрегаты с газовыми инфракрасными излучателями с подвижными системами, системы подвода газа и воды, контрольно-измерительную аппаратуру, пульт управления, помещение установки с железнодорожным путем нормальной колеи, маневровое устройство. Каждый моноблочный элемент состоит из горелочной панели верхнего обогрева и двух перемещающихся по направляющим кареток, на которых расположены газогорелочные устройства нижнего обогрева.

Смерзшаяся в полувагоне железная руда или концентрат с толщиной слоя 200..300 мм, от стенки полувагона, оттаивает в установке в 1,5...2 раза быстрее, чем в конвективном тепляке. Особенно заметно увеличивается скорость размораживания (в 5...6 раз) при оттаивании слоя смерзшегося груза толщиной 20...30 мм.

Все рассмотренные способы термического оттаивания смерзшейся горной массы имеют один недостаток – они являются очень энергоемкими. Так, например, общие затраты тепла на разогрев 60-тонного вагона с учетом потерь на разогрев самого вагона и ограждающих поверхностей тепляка составляет от 3-х до 4-х млн. ккал, в том числе на разогрев смерзшейся горной массы от -15 до 0 °С расходуется только 380...400 тыс. ккал, т.е. полезное использование тепла - 10...20 %. Установки с инфракрасными излучателями, не смотря на то, что они позволяют увеличить скорость приконтурного размораживания в 1,5...2 раза, они также значительно увеличивают расход природного газа по сравнению с обычными тепляками и имеют достаточно сложное технологическое исполнение.

Следующим элементом общей технологической схемы является роторный стационарный вагоноопрокидыватель, который выгружает груз из полувагона путем его опрокидывания (рис. 5).

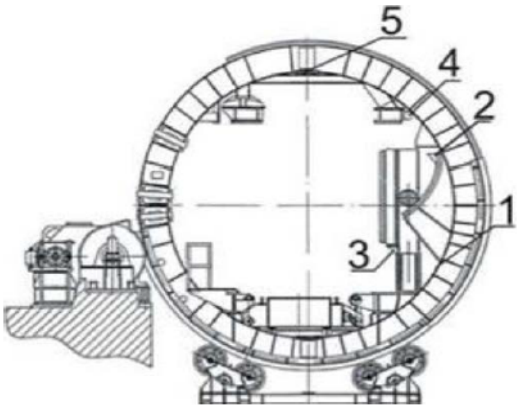


Рисунок 5 - Схема вагоноопрокидывателя

Вагоноопрокидыватель состоит из ротора, платформы с люлькой 2, механизма опрокидывания 3 и вибрационных устройств 4 для удаления остатков груза из полувагона. Ротор вагонопрокидывателя 1 связан балками, внутри него размещается платформа 2 и отбойная привалочная плита 3. Для улучшения высыпания груза из полувагона в момент его опрокидывания на роторе вагоноопрокидывателя

устанавливаются вибраторы направленного действия 4, как правило, двух типов. Малые вибраторы устанавливаются на опорные лапы вагоноопрокидывателя (обычно их три) и большие вибраторы (обычно два) устанавливаются на балках соединяющих ротор вагоноопрокидывателя.

Для повышения долговечности большие вибраторы оборудуются специальной виброгасящей системой. В момент начала поворота ротора цепь энергопитания вибраторов размыкается. При включении электродвигателя вагоноопрокидывателя ротор начинает проворачиваться и платформа с полувагоном перемещается к привалочной отбойной стенке. При повороте на 175° полувагон опирается верхней обвязкой на опорные лапы с малыми вибраторами. Когда электродвигатели вагоноопрокидывателя отключаются производится включение вибраторов. Как правило, время включения вибрации составляет порядка 10...20 с.

Предпоследним пунктомтехнологической схемы является зачистка полувагонов от остатков восстановившего свою сыпучесть груза после его разгрузки. Данный элемент в технологической схеме необходим, поскольку практически при любой технологической схеме выполнения разгрузки требуется дополнительная очистка полувагонов. В настоящее время существует ряд технологических решений по очистке полувагонов от остатков насыпных грузов, в частности, механическая очистка полувагонов различными вращающимися вертикальными и горизонтальными щетками или скребками, использование вибраторов, турбореактивных технологий и другие. Поэтому при выборе оптимального способа очистки полувагона от остатков груза, в первую очередь, необходимо исходить из экономической целесообразности с учетом конкретных технологических условий.

Последним элементом технологической схемы является дробление крупных агрегированных кусков груза, которые могут не пройти через отверстия в надбункерных решетках под вагоноопрокидывателем. Дробление при необходимости может выполняться вручную отбойными молотками, молотково-дробильными, дробильно-роторными или дробильно-фрезерными машинами, например, типа ДФМ (рис. 6). Данные машины устанавливаются по одной над каждым бункером вагоноопрокидывателя. Дробление кусков агрегированного груза производится вращающимися зубьями на основной и боковых фрезах ДФМ при ее движении вперед поперек продольной оси вагоноопрокидывателя.

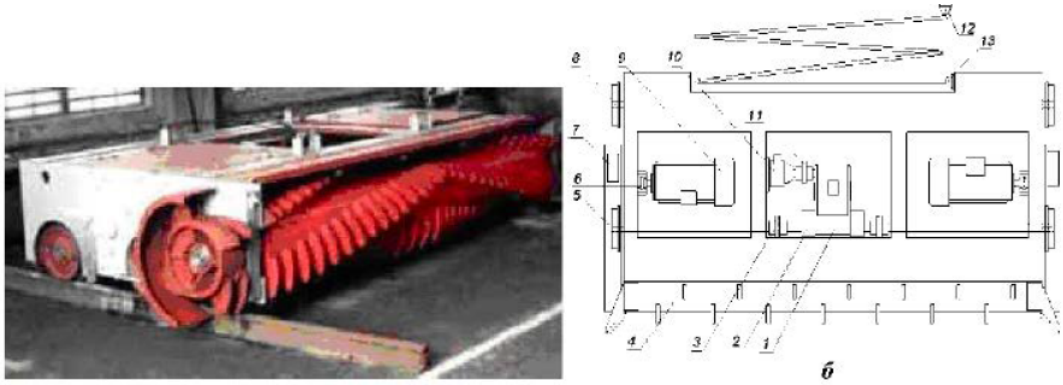


Рисунок 6 - Дробильно-фрезерная машина и ее схема:
1 – электродвигатель механизма перемещения машины; 2, 3 – редуктор и цепь механизма перемещения машины; 4 – основная центральная фреза с режущими зубьями; 5, 8 – ходовые колеса для перемещения машины; 6 – редуктор двигателя фрезы; 9 – электродвигатель; 10, 11 – двухступенчатыйредуктор; 12, 13 – масленки переносная с трубопроводом и стационарная

Режим работы машины взаимосвязан с работой вагоноопрокидывателя наличием блокировок. Во время опрокидывания полувагона машина находится в исходном положении. Управляет ею машинист вагоноопрокидывателя с дистанционного пульта.

Таким образом, разработанная технологическая схема, включающая в себя основные технические средства и приемы, позволит эффективно разгружать смерзшийся сыпучий груз из железнодорожных полувагонов при отрицательной температуре воздуха, позволит уменьшить затраты времени и труда при разгрузке, повысить технологичность складских операций и безопасность ведения работ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Минеев С.П.* Вибрационное и волновое рыхление агрегированной сыпучей горной массы [Текст] / С.П. Минеев, А.Л. Сахненко, С.А. Обухов. – Д.: Днепр, 2005. – 212 с.
2. *Минеев С.П.* Виброустановка для разгрузки смерзшихся сыпучих материалов из железнодорожных полувагонов [Текст] // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2004. – № 3. – С. 86.
3. *Минеев С.П.* Основные положения технологии разгрузки смерзшегося груза из железнодорожных полувагонов [Текст] / С.П. Минеев, М.Г. Ступа, А.С. Минеев // Наук. Вісник НГУ. – 2008. – Вип. № 10. – С. 24–29.
4. *Ким К.К., Шпилев М.А.* Комплекс для выгрузки угля из полувагонов / Статьи: информационный портал [Электронный ресурс]. –
URL: https://elibrary.ru/item.asp.id=22706030.

УДК 621.398

АЛАДЬИН М.Е.
Санкт-Петербургский горный университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ

Аннотация. Произведено исследование и анализ составляющих полной мощности при несинусоидальном режиме работы систем электроснабжения минерально-сырьевого комплекса, используемых при расчете коэффициента мощности сети. Выполнена компьютерная имитационная модель данной сети в среде Simulink Matlab, состоящая из нелинейного источника питания, линии, линейной и нелинейной нагрузок. Осуществлено моделирование пяти основных режимов электроснабжения, получены характерные составляющие полной мощности для всех пяти режимов, выполнен их анализ и сравнение. Как результат, произведена оценка влияния параметров сети на итоговый коэффициент мощности.

Ключевые слова: коэффициент, мощность, определение, расчет, несинусоидальность, нагрузка, линейная, нелинейная, гармоники.

ALADIN M.E.
Saint Petersburg Mining University

THE MODELING AND ANALYSIS OF NON-SINUSOIDAL MODES PARAMETERS

Abstract. In this work are presented the study and analysis of the components of the apparent power in the non-sinusoidal mode in power supply systems of the mining-raw networks, used in calculating the power factor. A computer simulation model of this network, consisting of a nonlinear power supply, line, linear and nonlinear loads, is performed in the Simulink Matlab. Five main power supply modes were modeled, the characteristic components of the apparent power for all five modes were obtained, and their analysis and comparison were performed. As a result, the influence of network parameters on the final power factor was estimated.

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

Коэффициент мощности является главным показателем наличия в сети реактивной мощности. В случае отсутствия реактивной мощности, ток и напряжение изменяются по идеальной синусоиде, а коэффициент мощности вычисляется как отношение активной мощности нагрузки P к ее полной мощности S [1-4]. Данный случай является идеализированным и не встречается в современных системах электроснабжения ввиду наличия нелинейных нагрузок и практически полного отсутствия синусоидальных источников питания, что приводит к появлению высших гармонических составляющих тока и напряжения [5-9]. Таким образом, в сети появляются составляющие полной мощности, отражающие величину данных гармоник как со стороны источника, так и со стороны нагрузки [10-13].

Путем изучения и анализа международной нормативной документации, такой как, например, стандарта международной научно-технической ассоциации «Институт инженеров электротехники и электроники» (IEEE, США) [14,15], получены выражения составляющих полной мощности, отражающих степень влияния параметров

несинусоидальных режимов на итоговый коэффициент мощности системы.

В процессе исследования, в среде разработки Simulink Matlab была создана компьютерная имитационная модель сети электроснабжения, состоящая из несинусоидального источника электрической энергии, сети, линейной и нелинейной нагрузок. По результатам моделирования были получены следующие составляющие полной мощности: полная суммарная мощность (S), полная мощность первой гармоники (S_1), полная мощность гармонических искажений (S_H), а также мощности искажения по току (D_I) и напряжению (D_U). Данные величины были измерены в точках подключения нагрузок и точке общего присоединения. Структурная схема моделируемой сети представлена на рис. 1.

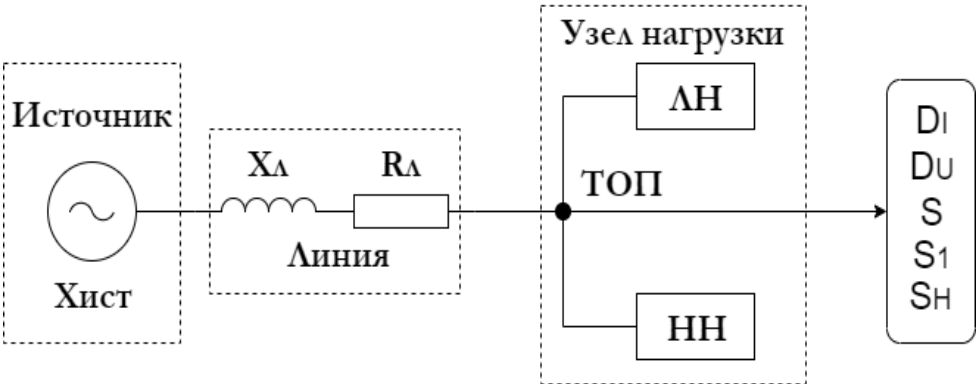


Рисунок 1 - Структурная схема модели системы электроснабжения

На рис. 2 приведена компьютерная имитационная модель в среде разработки Simulink Matlab.

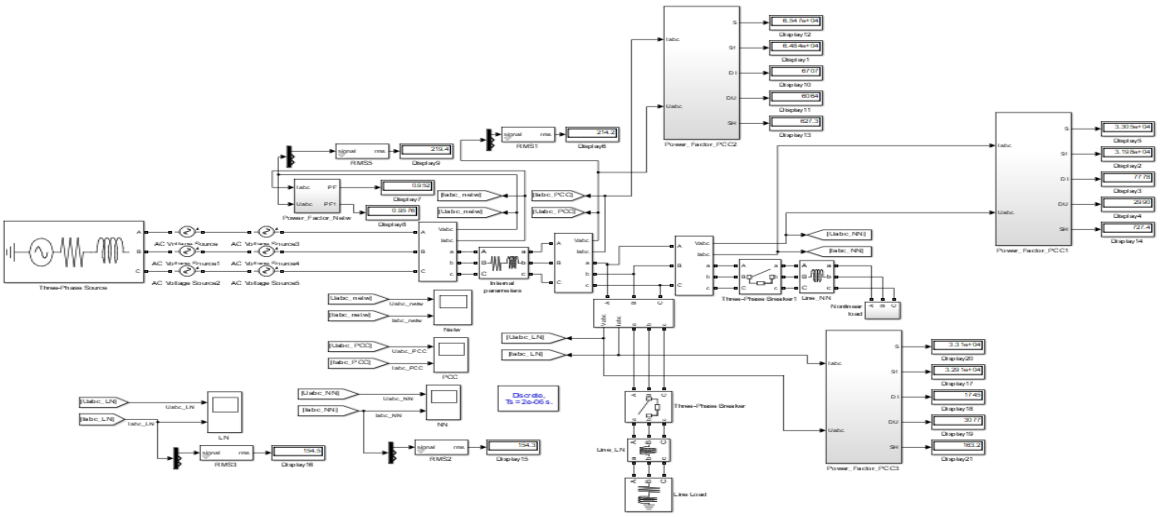
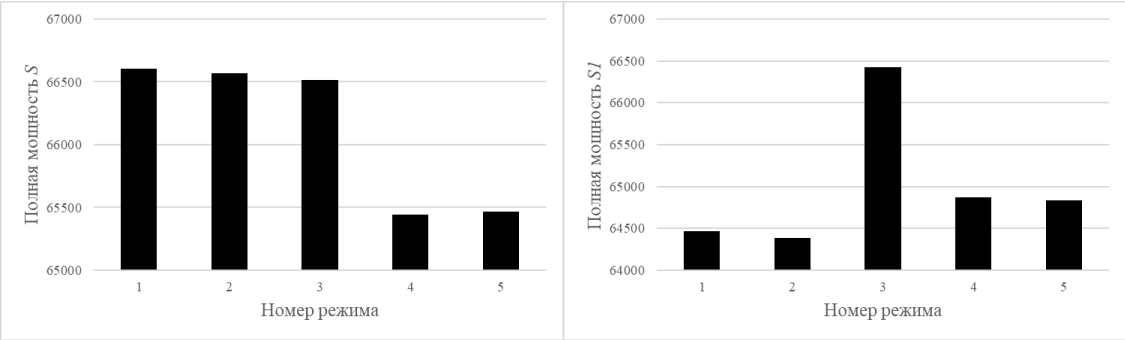


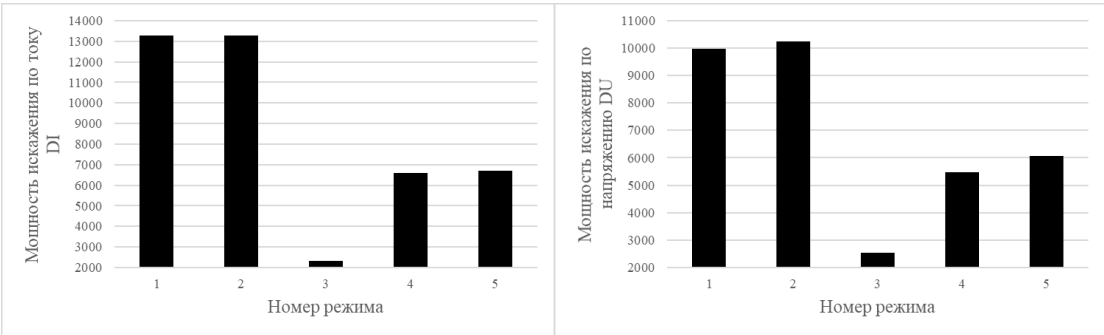
Рисунок 2 - Компьютерная имитационная модель системы электроснабжения

По результатам моделирования, получены значения приведенных ранее составляющих полной мощности для следующих пяти режимов: нелинейная нагрузка и синусоидальный источник (1), нелинейная нагрузка и несинусоидальный источник (2), линейная нагрузка и несинусоидальный источник (3), линейная и нелинейная нагрузки и синусоидальный источник (4), линейная и нелинейная нагрузки и несинусоидальный источник (5). Гистограммы полученных значений представлены на рис. 3-5.



а) б)

Рисунок 3 - Гистограмма полной мощности сети (а)
и полной мощности первой гармоники (б)



а) б)

Рисунок 4 - Гистограмма мощности искажения по току (а) и напряжению (б)

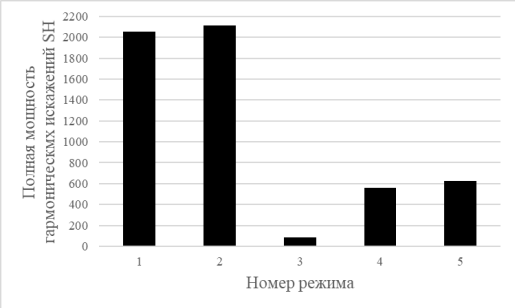


Рисунок 5 - Гистограмма полной мощности гармонических искажений.

Опираясь на полученные результаты, можно сделать вывод, что наименьшая полная мощность наблюдается в 4 и 5 режимах, в которых присутствуют оба вида нагрузок. Максимальная полная мощность достигается в 3 режиме, то есть только с линейным потребителем. Мощности искажения по току и напряжению в режиме работы только с линейной нагрузкой также минимальны, а максимальны в первых двух режимах. Наибольшие гармонические искажения также свойственным именно первым двум режимам. То есть они вызываются соединением любого источника к нелинейному потребителю.

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. - № 194, Т. 5, 142141.
2. *Abramovich B.N.* Protective Controller against Cascade Outages with Selective Harmonic Compensation Function / B.N. Abramovich, R.Y. Zimin, P.A. Kuznetsov // Journal of Physics: Conference Series. - 2018. - № 1015, Т. 2, 22001.
3. ГОСТ 32144-2013. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии всистемах 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. - № 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. - № 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. - № 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 // Dynamics of Systems, Mechanisms and Ma-chines, Dynamics 2016. - 2016. - 7818962.
8. 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. 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. 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. The evaluation of hybrid active filter efficiency / B.N. Abramovich, Yu.A. Sychev // Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП-2016. - 2017. - 7879064.1.
12. 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.
13. 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. "Innovations and Prospects of Development of Mining Machinery and Electrical Engineering - Power Supply of Mining Companies". - 2017. - 032002.
14. IEEE 1459-2010 - IEEE 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 621.923.5

АЛИЕВА Л.
Санкт-Петербургский горный университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ХОНИНГОВАНИЯ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Аннотация. Хонингование гильз двигателей внутреннего сгорания является наиболее производительным методом обеспечения заданной точности и шероховатости зеркала цилиндра. Рассмотрены данные ряда отечественных и зарубежных авторов по моделированию процесса хонингования для определения оптимальных режимов работы при различных технологических параметрах. Отмечено, что в рассмотренных моделях оцениваются и прогнозируются не все необходимые параметры процесса, что требует дальнейших исследований.

Ключевые слова: хонингование; цилиндро-поршневая группа; гильза цилиндра; шероховатость.

ALIYEVA L.
Saint-Petersburg Mining University

SIMULATION OF THE HONING PROCESS FOR COMBUSTION ENGINE LINER LINERS

Abstract. Honing of internal combustion engine liners is the most productive method to ensure the specified accuracy and roughness of the cylinder mirror. The data of a number of domestic and foreign authors on modeling of honing process for definition of optimum operating modes at various technological parameters are considered. It is marked, that in the considered models are estimated and predicted not all necessary parameters of process that demands the further researches.

Keywords: honing; cylinder piston group; cylinder liner; roughness.

Одним из наиболее ответственных узлов автомобиля является двигатель внутреннего сгорания (ДВС). Основная тенденция развития современных ДВС - повышение экономичности – требует совершенствования технологических процессов изготовления ответственных деталей и узлов. Одна из наиболее ответственных составляющих ДВС – цилиндро-поршневая группа (ЦПГ) [1]. Основная триботехническая система ЦПГ: внутренняя поверхность блока цилиндров («зеркало») – боковая поверхность поршня с поршневыми кольцами определяется во многом параметрами геометрии трущихся поверхностей и применяемыми материалами и покрытиями. Наибольший уровень механических потерь в ДВС приходится на данную трибосистему, включающую взаимодействие между поршневыми кольцами и цилиндром [2].

Гильзы цилиндров двигателей внутреннего сгорания карьерного транспорта при работе испытывают большие нагрузки. Основными дефектами гильз цилиндров ДВС, образующимися при эксплуатации, являются: трещины, износ наружной поверхности, излом бурта, износ посадочных поясков, износ внутренней (рабочей) поверхности. Предотвратить износ поверхности гильз можно с помощью технологического обеспечения точности и шероховатости рабочей поверхности гильз цилиндра ДВС за счет совершенствования параметров хонингования. Процесс хонингования позволяет

получить требуемые размеры, обеспечив точность и минимальные отклонения между диаметрами в разных точках гильз и цилиндров ДВС.

Таким образом, привлекательность хонингования объясняется высокой производительностью и технико-экономическими показателями. Представляет интерес разработка новых, более совершенных конструкций инструментов (хонинговальных головок), выбор абразивных брусков с оптимальной зернистостью, в том числе с использованием новых материалов абразивных зёрен.

Хонингование − метод окончательной обработки преимущественно гладких цилиндрических отверстий абразивными брусками специальным инструментом − хонинговальной головкой. Его сущность состоит в снятии припуска абразивными брусками хонинговальной головки, связанной с шпинделем станка шарнирно или жёстко, и совершающей вращательное или возвратно-поступательное движение (а иногда и осевое колебательное). В результате такого сочетания движений абразивные бруски движутся по винтовым линиям, как показано на рис. 1.

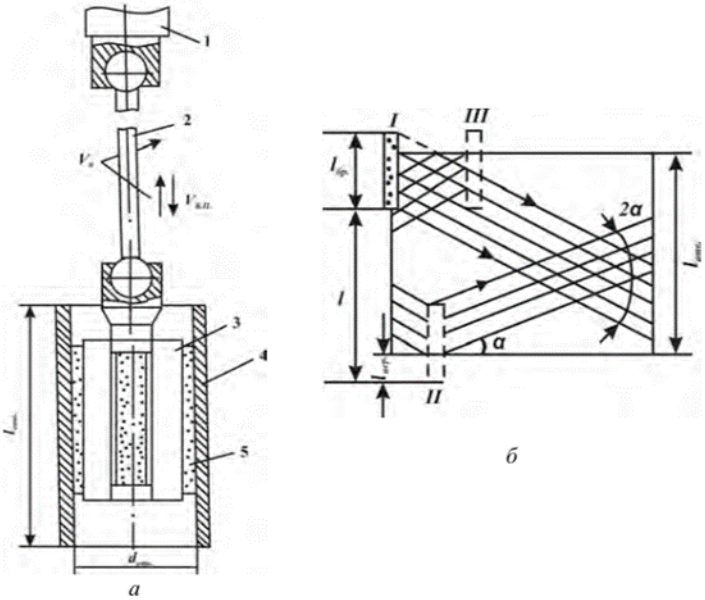


Рисунок 1 - Технологическая и конструктивная модель хонингования:
а – схема процесса:
1 – шпиндель станка; 2 – стержень головки; 3 – корпус головки;
4 – обрабатываемая деталь; 5 – абразивный брусок;
б – схема следов обработки

Хонингование является процессом массового микрорезания (царапания) обрабатываемой поверхности большим количеством абразивных зёрен, беспорядочно расположенных на рабочей поверхности брусков. Абразивные зёрна обеспечивают срезание большого количества тонких стружек. Процесс микрорезания происходит в результате внедрения контактирующего выступа абразивного зерна в граничный слой обрабатываемого материала [3].

В процессе хонингования абразивные бруски снимают припуск от 0,01 мм, в некоторых случаях до 1 мм и более на диаметр. При этом удаляются как гребешки микронеровностей, так и основной металл.

Процесс хонингования осуществляется при обильной подаче смазывающе-охлаждающей жидкости, что обеспечивает не только эффективное снятие припуска, но и снижает температуру нагрева обрабатываемой поверхности детали. Низкие температуры приводят к минимальным искажениям макрогеометрии и повышают точность обработки. Температура детали в процессе хонингования в зависимости от

толщины стенки втулки цилиндра и режима обработки не превышает 60...90 °С.

Процесс хонингования отличается высокой производительностью. Если при шлифовании контакт режущего инструмента с обрабатываемой поверхностью осуществляется по линии, то при хонинговании, в контакте участвует 6...9 и более брусков, имеющих цилиндрическую поверхность, и в резании одновременно участвуют в 100…2000 раз большее количество зерен. Производительность процесса хонингования в значительной степени определяется зернистостью абразивных брусков.

Хонингование втулок цилиндров обычно осуществляют в два этапа: предварительное - для снятия основного припуска и получения заданных параметров микрогеометрии и окончательное – для получения заданной микрогеометрии рабочей поверхности. Эти этапы, как правило, отличаются зернистостью используемых абразивных брусков, и, в ряде случаев, режимом обработки с целью нанесения заданного рисунка перекрещивающихся микрорисок – следов резания зерен хонинговальных брусков.

Точность размеров и формы отверстий цилиндровых втулок, достигаемые при хонинговании, находятся в зависимости от большого числа факторов в числе которых можно назвать: припуск, оставляемый на хонингование от предшествующей операции обработки; удельное давление, оказываемое брусками на обрабатываемое поверхность; материал и зернистость хонинговальных брусков; вид связки и пористость брусков; режимы резания (скорости вращательного и возвратно-поступательного движений хонинговальной головки); величина перебега брусков при хонинговании; размеры и количество брусков в хонинговальной головке и другие факторы.

Производительность процесса хонингования также зависит от многих факторов: материала втулки цилиндра; его механических свойств; скоростей вращательного и возвратно-поступательного движений хонинговальной головки: их соотношения, определяющего угол подъема спиральных рисок (следов резания единичными зернами бруска); состава и качества смазывающе-охлаждающей жидкости и других факторов.

Шероховатость обработанной поверхности отверстий цилиндровых втулок хонингованием также зависит от многих факторов: механических характеристик обрабатываемого материала; зернистости брусков, пористости и виды связки; режимов резания; состава СОЖ и пр.

В публикациях по тематике моделирования хонингования задача оптимизации решается путем построения теоретико-эмпирических моделей с применением, например, известного метода Тагучи [4] для определения оптимальных режимов работы при различных технологических параметрах [5, 6] или метода нейронных сетей [7].

Применяются методы анализа поверхности отклика для установления влияния технологических параметров на микрогеометрические, но рассматривается только параметр *Ra* [8, 9]. Развитие вычислительной техники, в частности программно-аппаратной архитектуры параллельных вычислений на базе графических процессоров, позволило моделировать формирование микрогеометрии в достаточном объеме в последние 10 лет. Объектом моделирования являются составляющие текстуры поверхности, характеризуемые макрогеометрическими и микрогеометрическими параметрами.

Модель В.А. Огородова [10] является макрогеометрической – дискретно обрабатываемая поверхность, контактирующая с отдельными абразивными зернами хонинговального бруска. Получены зависимости, отражающие съем припуска от времени. Модель отнесена к макрогеометрическим так как оценивались только параметры отклонения формы (овальность, некруглость), расчет выполнен в среде Matlab. Схожая по схеме моделирования взаимодействия отдельных зерен модель разработана Т.Ф. Пепляевой, В.Ю. Иванкиным [11]. Рассчитываются стандартные по ГОСТ 2789-73 параметры: *Ra, Rz, Rmax, Sm, S, tp*. Авторы пришли к выводу, что

«параметр *Ra* после некоторого времени стремится к постоянному значению» и «чем больше размер зерна, тем выше значение параметра *Ra*», при этом отсутствие в модели возможности комплексной оценки получаемой текстуры не позволило авторам объяснить причину снижения скорости изменения *Ra* в связи с недостаточной отраженностью в модели параметров, характеризующих механику процесса *Хг*. Однако примечательно, что в последующей статье [12] авторы упоминают неоднородность численных значений параметров текстуры, т. е. анизотропию поверхности, в международных стандартах представленную отдельным критерием.

В микрогеометрической модели В.А. Иванова, А.В. Иванова [13] рассматривается формируемая при *Хг* скважинных штанговых насосов поверхность. Факторы, потребовавшие разработку модели, схожи с парой трения «блок цилиндров – поршень» – скорость изнашивания поверхности плунжера насоса меньше, чем у поверхности цилиндра. Авторы утверждают, что модели, основанные на транспонировании взаимодействия отдельного зерна на всю поверхность, не точны. Представлена «реальная» математическая модель, включающая 3 этапа: построение профиля инструмента, имитация снятия припуска, расчет параметров по ГОСТ 25142-82 [14]. Входными параметрами модели являются ширина и длина бруска, а также зернистость и концентрация зерен; параметры микрогеометрии оцениваются только по *Ra, Rz, Sm*, в качестве допущения отсутствует учет исходной микрогеометрии заготовки. В следующей статье по модели тех же авторов [14] показана удовлетворительная сходимость с результатами экспериментальных исследований, указано, что расхождение в уровне сечения при одинаковом значении *tp* не превышает 10 % [15].

В настоящей работе выполнен сравнительный анализ данных различных авторов по применимости рассматриваемых параметров в моделях, что позволяет сделать вывод о том, что в зарубежных и в отечественных публикациях по тематике хонингования, отражающих результаты сочетания численных значений параметров группы *Rk* не оцениваются и не прогнозируются.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Priest M.* Automobile engine tribology - approaching the surface / M. Priest, C.M. Taylor // Wear. – 2019. - No. 241. - P. 193-203.
2. *Taylor C.M.* Automobile engine tribology – design considerations for efficiency and durability / C.M. Taylor // Wear. – 2010. - No. 221. - P. 1-8.
3. *Куликов С.И.* Прогрессивные методы хонингования / С.И. Куликов, Ф.Ф. Ризванов, В.А. Романчук, С.В. Ковалевский. - М.: Машиностроение, 1983. - 135 с.
4. *Singh R.V.* Experimental study and modelling of the effect of process parameters on surfaceroughness during honing process / R.V. Singh, A.K. Raghav // Journal of the Institution of Engineers (India), Part PR: Production Engineering Division. – Delhi: Indian Institute of Technology. – 2010. - Vol. 90. – P. 3–7.
5. *Neagu C.* Neural networks modelling of process parameters in honing of thermal engines' cylinders / C. Neagu, A. Dumitrescu // Metalurgia International. – Romania, Bucharest: University Politehnica of Bucharest. – 2008. - Vol. 13(5). – P. 66–78.
6. *Jocsak J.* Modeling and optimizing honing texture for reduced friction in internal combustion engines / J. Jocsak, Y. Li, T. Tian, V.W. Wong // SAE Technical Papers. – Detroit, MI: 2006 SAE World Congress. - 2006. - 01. – 0647.
7. *Jack Feng C.-X.* Threefold vs. fivefold cross validation in one-hidden-layer and two-hidden-layer predictive neuralnetwork modeling of machining surface roughness data / C.-X. Jack Feng, Z.-G.S. Yu, U. Kingi, M. Pervaiz Baig // Journal of Manufacturing Systems. United States, Peoria, IL: Dept. of Industrial and Manufacturing Engineering and Technology. – Bradley University. – 2005. - Vol. 24(2). – P. 93–107.

8. *Tripathi B.N.* Surface roughness influencing process parameters & modeling techniques for fourstroke motor bike cylinder liners during honing: Review / B.N. Tripathi, N.K. Singh, U.K. Vates // International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering. – 2015. - Vol. 15(1). – P. 106–112.
9. *Silva S.P.* Evaluation of quality of steering systems using the honing process and surface response methodology / S.P. Silva, L.C. Brandao, R.F. Pimenta Pereira // Advanced Materials Research. – Portugal, Sintra: 17th CIRP Conference on Modelling of Machining Operations. – 2011. – Vol. 223. – P. 821–825.
10. *Огородов В.А.* Имитационная модель процесса алмазного хонингования / В.А. Огородов // Вестник УГАТУ. – 2010. - Т. 14. - № 4 (39). – С. 60–68.
11. *Пепеляева Т.Ф.* Моделирование взаимодействия поверхностей при хонинговании / Т.Ф. Пепеляева, В.Ю. Иванкин // Глобал. науч. потенциал. – 2014. - № 8 (41). – С. 112–115.
12. *Иванкин В.Ю.* Методика конструирования поверхности по заданным параметрам шероховатости / В.Ю. Иванкин, Т.Ф. Пепеляева // Перспективы науки. – 2014. - № 3 (54). – С. 73–75.
13. *Иванов В.А.* Разработка математической модели прогнозирования параметров шероховатости хонингуемой поверхности цилиндров скважиных штанговых насосов / В.А. Иванов, А.В. Иванов // Вестник Перм. нац. исследоват. политехн. ун-та. Машиностроение, материаловедение. – 2010. - Т. 12. № 3. – С. 48–53.
14. *Иванов В.А.* Математическое моделирование формирования шероховатости поверхности при алмазном хонинговании брусками на металлических связках / В.А. Иванов, А.В. Иванов, А.А. Долинин, О.А. Халтурин // Вестник УГАТУ. – 2011. - Т.15. № 2 (42). – С. 82–87.
15. *Бобровский И.Н.* Параметры характеризации текстуры после хонингования / И.Н. Бобровский // Вестник УГАТУ. – 2017. - Т. 17. №3. – С. 26–35
16. ГОСТ 25142-82. Шероховатость поверхности. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 20 с.
17. ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. – М.: Изд-во стандартов, 1973. – 7 с.

УДК 621.651

АНИКИНА М.А.
Санкт-Петербургский горный университет

УВЕЛИЧЕНИЯ РЕСУРСА РАБОТЫ ПЛУНЖЕРНЫХ НАСОСОВ ИЗ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. В данной работе было проведен сравнительный анализ свойств конструкционных керамических материалов, из которых рекомендован наилучший для производства плунжеров в целях увеличения жизненного цикла оборудования.

Ключевые слова: керамика, плунжер, насос, пары трения.

ANIKINA M.A.
Saint-Petersburg Mining University

INCREASES OF THE RESOURCE OF WORK OF PLUNGER PUMPS FROM CERAMIC MATERIALS

Abstract. In this work, a comparative analysis of the properties of structural ceramic materials was carried out, of which the best was recommended for the production of plungers in order to increase the life cycle of the equipment.

Keywords: ceramics, plunger, pump, friction pairs.

Возможности применения плунжерных насосов многообразны. Однако эти изделия являются подходящим решением в тех случаях, когда необходимо перекачивать жидкие среды под высоким давлением, поэтому они не нашли применения в быту. Плунжерные насосы могут использоваться и как маломощные насосы для очистных работ массой несколько килограммов, и как насосы для обрабатывающей промышленности мощностью несколько мегаватт и массой 40 тонн. Высоконапорные насосы могут работать с давлением до 3000 бар [0].

Область применения плунжерных насосов в целом сходна с областью применения поршневых насосов, определяется значениями его номинальной производительности и напора. Конструктивная особенность насоса в узле уплотнения, состоящем из 3-х пакетов шевронных манжет, которые регулируются наружными нажимными гайками.

Использование керамики в качестве материала плунжера существенно повышает характеристики и долговечность агрегата, что приводит к значительному экономическому эффекту на протяжении жизненного цикла оборудования. Для некоторых насосов межремонтный период вырастает до 4000 часов и более, что в 5-10 раз больше [0], чем при использовании стальных втулок плунжеров.

Керамика обусловленная широким диапазоном ее разнообразных физических и химических свойств. Керамика не окисляется и устойчива в более высокотемпературной области, чем металлы. У распространенных керамических материалов (оксидов алюминия, магния, тория) термическая устойчивость намного превышает устойчивость большинства сталей и сплавов. Модуль упругости керамических волокон на порядок выше, чем у металлов [0].

Перспективность керамики обусловлена многими факторами, среди которых наиболее важны следующие:

1. Керамика отличается исключительным многообразием свойств (многофункциональностью) по сравнению с другими типами материалов.

2. Важным достоинством керамики является высокая доступность сырья.

3. Керамические материалы по сравнению с металлами обладают более высокими коррозионной стойкостью и устойчивостью к радиационным воздействиям, что обусловливает долговечность керамических конструкций в агрессивных средах.

4. Использование керамики открывает возможность для создания разнообразных по свойствам материалов в пределах одной и той же химической композиции. Любое, даже самое малое керамическое изделие состоит из огромного числа кристаллитов, размер, форма и относительное расположение которых определяют их свойства.

В качестве материалов для изготовления плунжерных пар применяются оксид алюминия (Al_2O_3), диоксид циркония (ZrO_2) и нитрид кремния (Si_3N_4), а также из композитов, содержащих MoO_3, Si_3N_4 [0].

Применение мелких неагрегированных монофракционных порошков α-Al_2O_3 с размером частиц 0,5 мкм, полученных химическими методами осаждения при одновременном введении ZrO_2, позволило получить керамику с очень мелкими кристаллами и очень высокими механическими свойствами [0].

Наибольшее применение нашла керамика, имеющая составы, близкие к эвтектическому в системе Al_2O_3 - ZrO_2и содержащая 30 % ZrO_2 в частично стабилизированном состоянии. Полученная методом горячего прессования керамика указанного состава характеризуется прочностью при изгибе 1200... 1500 МПа и трещиностойкостью на уровне 15 МПа·м$^{1/}$2. Прочность на изгиб керамического материала эвтектического состава системы Al_2O_3 - ZrO_2, изготовленного методом обычного спекания, достигает 1000 МПа. Методом горячего изостатического прессования из смеси оксидов при содержании до 50 % Al_2O_3 получена керамика прочностью 1700...2500 МПа. Прогнозируется возможность дальнейшего улучшения свойств корундовой керамики при использовании особо тонкодисперсных порошков (менее 0,01 мкм) [0].

Для компании «Ареопаг» подходящим материалом плунжеров является керамика Al_2O_3+ ZrO_2, твердость которой составляет 2500 HV [0].

Керамика Al_2O_3+ZrO_2 является наиболее износостойкой, однако это весьма дорогой материал и его применение оправдано для деталей, работающих при высоких температурах [0].

Коэффициент трения керамики на основе Al_2O_3 по керамике без смазки составил f = 0,33; в тех же условиях сталь по стали имеет f = 0,5, т.е. имеется явное преимущество керамики в плунжерных узлах. Интенсивность изнашивания пары трения керамика – керамика составляет $3{,}84\times10^{-8}$, а пары сталь – керамика – $23{,}5\times10^{-8}$ [0].

Долговечность изготовленных и испытанных плунжеров с керамическими поверхностями в 50 раз выше, чем плунжеров, изготовленных из высоколегированной стали 95Х18 [0].

Представленные данные на рис. 1 свидетельствуют о преимуществах керамических материалов. В качестве материалов плунжерных пар применяются оксид алюминия с оксидом магния (Al_2O_3 + MgO) и диоксидом циркония (Al_2O_3 + ZrO_2) [0].

Необходимо учитывать и экономическую целесообразность. Стоимость керамики из диоксида алюминия в 5 раз ниже по сравнению со сталью 95Х18. Однако получение деталей из тонкокристаллической керамики со стабильными механическими свойствами требует тщательно отработанной технологии. Сложность представляют процесс соединения с другими материалами и контроль.

Однако, отсутствие пластичности, чувствительность к надрезу, предрасположенность к хрупкому излому, низкая трещиностойкость, высокие затраты

на финишную обработку поверхности и проблемы техники соединения керамики с другими материалами заставляют в каждом конкретном случае всесторонне рассматривать проблему.

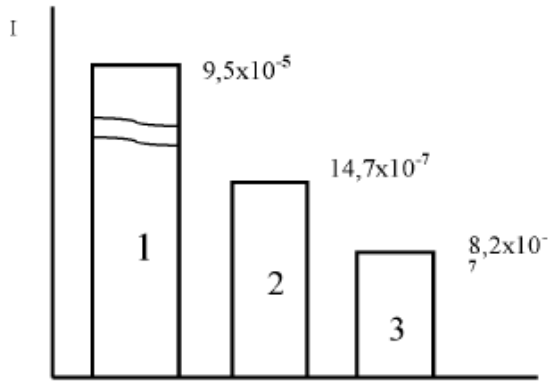


Рисунок 1 - Интенсивность изнашивания:
1 - стали 95Х18, 2 - керамики Al_2O_3 + MgO, 3 - керамики Al_2O_3 + ZrO_2 [0]

Заключение

После проведения сравнительного анализа свойств конструкционной керамики и плунжерных пар было выявлено, что долговечность плунжеров изготовленных из керамики в 50 раз выше, чем у плунжеров, изготовленных из высоколегированных сталей.

Для компании «Ареопаг» подходящим материалом плунжеров является керамика Al_2O_3+ ZrO_2, твердость которой составляет 2500 HV.

Данная работа выполнена под руководством доцента Сивенкова А.В.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бурданов В.Н.* Непрерывное дозирование жидкости насосами возвратно-поступательного действия. - СПб: Геликон Плюс. - 2012. – 224 с.
2. *Вержанский А.П.* Износостойкость конструкционной керамики в горном оборудовании / А.П. Вержанский, М.С. Островский, Н.Б. Шубина // - 2011.
3. *Семченко Г.Д.* Конструкционная керамика и огнеупоры. – Харьков: Штрих. - 2000. – 304 с.
4. *Кульметьева В.Б.* Керамические материалы: получение, свойства, применение / В.Б. Кульметьева, С.Е. Порозова. - Пермь. - 2009. – 237 с.
5. *Любушкин Р.А.* Синтез и свойства композиционной керамики из нанокристаллического Al_2O_3 – 30% $Y_{0,1}Zr_{0,9}O_2$, полученного из водно-спиртового раствора / Р.А. Любушкин, В.В. Сирота, О.Н. Иванов. - 2011.
6. *Лукин Е.С.* Нанопорошки для получения оксидной керамики нового поколения / Е.С. Лукин [и др.] // Новые Огнеупоры. – 2009. - №11. – С.29-34.

УДК 669.017

АНИКИНА М.А.,
ЖИГАЙЛОВА Д.А.
Санкт-Петербургский горный университет

ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ, ТВЕРДОСТЬ И ПАРАМЕТРЫ СТРУКТУРЫ СТАЛИ 38ХН3МФА ПОСЛЕ ЧАСТИЧНОГО НЕМАРТЕНСИТНОГО РАСПАДА ПРИ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ЗАКАЛКЕ И РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ ОТПУСКА

Аннотация. В данной работе было исследовано влияние различных режимов закалки и отпуска на трещиностойкость и коробление сталей. Приведено сравнение свойств стали после закалки с выдержкой в промежуточной области и после закалки в масло, а также результаты применения краткосрочных отпусков в сравнении со стандартными.

Ключевые слова: закалка, отпуск, мартенсит, бейнит, трещиностойкость, твердость.

ANIKINA M.A.,
ZHIGAILOVA D.A.
Saint-Petersburg Mining University

CRACK RESISTANCE , HARDNESS AND STRUCTURE PARAMETERS OF 38KHN3MFA STEEL AFTER PARTIAL NON-MARTENSITIC DECAY DURING ISOTHERMAL QUENCHING AND VARIOUS TEMPERING MODES

Abstract. This paper presents a research of the influence of various quenching and tempering modes on the crack resistance and skellering of steels. The influence on the properties of steel austempering in comparison with oil quenching is studied , and the results of short- term tempering in comparison with standard ones are also presented.

Keywords: quenching, tempering, martensite, bainite, crack resistance, hardness.

Целью работы является исследование влияния режимов отпуска на структуру и твердость стали 38ХН3МФА после закалки с выдержкой в промежуточной области и для сравнения – закалки в масле.

Закалку проводили от 870 °С с охлаждением в селитровой ванне с температурой 340 °С в течение 15 минут, далее на воздухе, а также в масло.

Далее был проведен отпуск в интервале 200–640 °С, 2 ч. После отпуска при 200 °С (2 ч) у образцов, закаленных в масло, наблюдалось небольшое снижение твердости, а у образцов, закаленных с выдержкой, она остается неизменной, либо несколько повышается (рис. 1).

Такой показатель отпускоустойчивости после закалки в бейнитной области связан с наличием в структуре большого количества $A_{ост}$, претерпевающего распад в процессе отпуска или в процессе деформации под индентором.

При отпуске в интервале 300–400 °С твердость после закалки в масло на 2...3,5 HRC выше, чем после изотермической закалки. При отпуске начиная с 300 °С и далее остаточный аустенит в структуре образцов отсутствует. Разница в твердости между образцами, закаленными в масло и в селитровой ванне, при отпуске в 600 °С и 640 °С составляет 1,5 и 1 HRC, соответственно, то есть разница в твердости мартенситной и мартенситно-бейнитной структуры становится несущественной (рис. 1).

Таким образом, в низкоотпущенном состоянии частичный распад в бейнитной области, несмотря на пониженную твердость, обеспечивает меньшую трещиностойкость (Рт) по сравнению с мартенситным.

После отпуска 560 °С трещиностойкость (рис. 1) образцов, закаленных в селитровую ванну, на 237 кгс выше, чем после закалки в масло при незначительном снижении твердости, т. е. после высокого отпуска немартенситный распад повышает Рт стали 38ХН3МФА.

При отпуске 640 °С твердость после закалки с выдержкой на HRC 2 выше, чем после закалки в масло, а значения Рт близки между собой, т.е. при 640 °С смешанная мартенситно-бейнитная структура обладает более высокой отпускоустойчивостью, чем мартенситная и при этом не проигрывает в трещиностойкости.

Для снижения времени выдержки за счет повышения температуры отпуска для получения особой структуры как закаленные в масло, так и с выдержкой при 340 °С, образцы были отпущены при 690 °С с выдержкой 15 и 30 минут. Полученные значения сравнивали с наиболее часто применяемым для ответственных деталей из стали 38ХН3МФА отпуском при 640 °С. Температура сокращенного отпуска – 690 °С соответствует Ac_1 - 15 °С этой стали. Субкритический отпуск, повышая ударную вязкость, снижает критическую температуру хрупкости и трещиностойкости. С этим и связано небольшое снижение Рт после отпуска 690 °С 30 мин по сравнению с отпуском 640 °С 2 ч для образцов закаленных в масло.

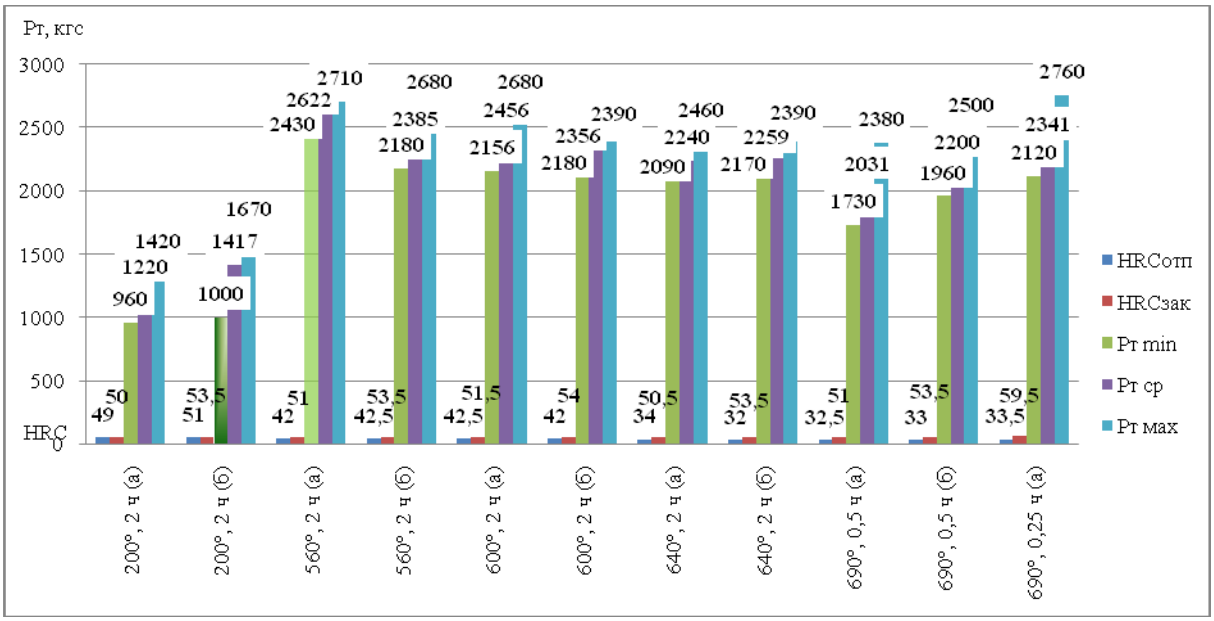


Рисунок 1 – Диаграмма сводных данных о зависимости твердости и трещиностойкости стали 38ХН3МФА от режимов термообработки:
а – изотермическая закалка, б – закалка в масло

В результате проведенных исследований трещиностойкости были получены данные, приведенные на рис. 1, по которым можно наблюдать, что при отпуске 560°С трещиностойкость резко повышается по сравнению с ее значением после отпуска 200 °С. Далее при отпуске на 600–640 °С трещиностойкость (рис. 1) равномерно снижается. Наблюдая данную закономерность, мы решили уменьшить продолжительность отпуска до 0,5 ч при более высокой температуре (690 °С). При этом снижение произошло незначительное, поэтому при последующем отпуске на 690°С время выдержки было снижено до 0,25 ч. Полученное значение трещиностойкости оказалось близко к значению при отпуске 560 °С с выдержкой 2 ч.

Заключение

Поскольку закалка с выдержкой в промежуточной области существенно снижает склонность стали к короблению и трещинообразованию в процессе закалки, то проведение последней после различных режимов отпуска является целесообразным и может быть рекомендовано для промышленного применения.

В ряде случаев применение краткосрочных отпусков при равных значениях трещиностойкости в сравнении со стандартными (часовыми) отпусками приводит к существенному сокращению цикла термической обработки, что также может быть рекомендовано инструментальным заводам для промышленного применения.

Данная работа выполнена под руководством доцента Шахназарова К.Ю.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гудремен Э.* Специальные стали. т. 1, т. 11. – М.: Металлургия, 1959. – 1638 с.
2. *Кремнёв Л.С.* Влияние отпуска в процессе закалки на свойства быстрорежущей стали / Л.С. Кремнёв, В.И. Ерёмин, О.В. Басаргин // МиТОМ. - 1969.- №5. - С. 24-29.
3. *Курдюмов Г.В.* Явление закалки и отпуска. - М.: Металлургия, 1960. – 64 с.
4. Курдюмов Г.В. Превращение в железе и стали / Г.В. Курдюмов, Л.М. Утевский, Р.И. Эитин. - М.: Металлургия, 1978. – 392 с.
5. Масанский О.А. Материаловедение и тех. конструкц. материалов. - М.: Инфра-М. - 2012. - 526 с.
6. Никулин С.А. Материаловедение: специальные стали и сплавы. - М.: МИСиС. - 2013. - 123 с.;
7. Никулин С.А. Материаловедение и термическая обработка. - М.: МИСиС. - 2013. – 171 с.

УДК 551

АРСЛАНОВА Ф.Г.,
ЕРШОВА Е.С.,
ОДИНЦОВ Е.Е.
Санкт-Петербургский горный университет

РАЗРУШЕНИЕ ТОРНАДО КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОБЫЧИ В ГОРНОРУДНОЙ И НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛЯХ

Аннотация. В работе предложен метод борьбы с торнадо, имеющий большие перспективы для развития горнорудной промышленности.

Ключевые слова: торнадо, горнорудная промышленность, моделирование.

ARSLANOVA F.G.,
ERSHOVA E.S.,
ODINTSOV E.E.
Saint-Petersburg Mining University

TORNADO DESTRUCTION AS A WAY TO INCREASE PRODUCTION EFFICIENCY IN THE MINING AND OIL AND GAS INDUSTRIES

Abstract. The paper proposes a method of fighting tornadoes, which has great prospects for the development of the mining industry.

Keywords: tornado, mining industry, modeling.

В современном мире вихревые образования в атмосфере, смерчи и торнадо являются существенной угрозой для развития горной и нефтегазовой отраслей. Возникновение вихревых образований в зоне ведения горных работ зачастую ухудшают условия функционирования различных систем и механизмов, оказывая отрицательное влияние на темпы экономического развития предприятий, а также представляя угрозу для жизни и здоровья сотрудников, находящихся в зонах поражения вихрем. Данная проблема считается малоизученной ввиду объективных рисков, с которыми ученые сталкиваются в процессе исследования торнадо. Однако известны способы разрушения смерчей (торнадо) за счет внешнего взрывообразного воздействия [1-3]. Авторы считают, что энергия взрыва должна быть сравнима с энергией смерча и не проводят количественного анализа временной динамики структуры вихря. В работе [4] предлагается способ ослабления смерча за счет искусственной генерации у поверхности земли вихрей, имеющих противоположное со смерчем направление вращения. В методе, предложенном в [5], разрушение смерча достигается за счет замедления процессов передачи углового момента вращения из верхней околооблачной области торнадо к нижней, находящейся у поверхности Земли.

Следует отметить, что тема применения внешних воздействий для изменения параметров газовых течений особенно интенсивно развивается в последнее время в связи с попытками оптимизации аэродинамического обтекания нетрадиционными методами - за счет энергетического и силового воздействий на течение [6-8]. Как показано в многочисленных работах, такие методы позволяют существенно улучшить аэродинамические характеристики обтекаемых тел и в ряде случаев дают возможность достигать показателей, реализация которых была невозможной при использовании традиционных способов управления параметрами газовых потоков [9, 10]. В работах

[11, 12] рассматривалось влияние стационарного газового разряда на динамику структуры бесконечной вихревой трубки. Было показано, что если вектор электрического поля в плазме и ось трубки коллинеарны, то вихревая трубка распадается с характерным временем, определяемым параметрами плазмы. Данный эффект объяснялся дополнительным неоднородным энерговыделением в газе, который в силу рэлеевского механизма характерен для плазмы самостоятельного газового разряда [13, 14]. В настоящее время экономический ущерб от торнадо, к примеру, только в США в год превышает более 1,5 миллиардов долларов, половина из которых – ущерб от остановки производств по добычи полезных ископаемых ввиду режима чрезвычайной ситуации.

Идейный путь данной работы начался с необходимости решить задачу разрушения вихревых неустойчивостей, формирующихся в изотропной плазме [12]. В этих целях поставлена задача, построена теоретическая модель, и впервые сформулированные корректные начальные и граничные условия, а также получено точное аналитическое решение для данной системы дифференциальных уравнений в частных производных, в виде функции одной переменной (зависимость скорости от радиуса).Впервые представлена теория, объясняющая природу данных структур, вследствие чего появилась возможность создать способы устранения аномалий. Появилась идея о том, что физику вихрей в газовой динамике можно описать полученной теорией в силу сходства природ этих явлений. Получен результат, доказывающий, что небольшим энерговыделением вблизи оси вихря можно разрушить такую структуру как смерч, в противоположность традиционным методам, которые предполагают, что энерговыделение должно быть примерно такой же разрушающей мощности как сам смерч. Экспериментальная проверка полученного теоретического результата выполнена в виде численного эксперимента в кодах программы «Comsol». Результаты численного моделирования хорошо подтверждают данные теоретических расчетов, полученных путем оценки энергии, необходимой для разрушение вихря (торнадо) при следующих условиях: атмосферном давлении, радиусах вихря $r < 10$ м и тангенциальных скоростях $v = 10$ м/с и более. Рассмотрим стационарную вихревую трубку в изотермическом газе при отсутствии вязкости. Введем цилиндрическую систему координат, в которой ось Z направлена вдоль оси вихревой трубки. После выделения энергии вблизи смерча по профилю тангенциальной скорости $\bar{v}_y$ от оси вихря бежит волна. Ее скорость $V_t(x, y)$ в единицах скорости звука a, как нетрудно вычислить, описывается соотношениями:

$$V_t(x,y) = \left[y + \frac{f_1(x,y)}{f(x,y)}\right] / \left[x + \frac{f_2(x,y)}{f(x,y)}\right];$$

где

$$f_1(x,y) = \beta \frac{(2y^2 - x^2)}{\left(1 + \beta y\sqrt{y^2 - x^2}\right)^3 \sqrt{y^2 - x^2}};$$

$$f_2(x,y) = \beta \frac{yx}{\left(1 + \beta y\sqrt{y^2 - x^2}\right)^3},$$

$$f(x,y) = 1 - \frac{1}{\left(1 + \beta y\sqrt{y^2 - x^2}\right)^2}.$$

При этом, сам факт распада вихря не зависит от суммарной энергии, выделенной на оси. Более того, скорость распада вихря на финальной стадии, вообще не зависит от величины выделенной энергии. В то же время, вихрь распадается тем быстрее, чем больше параметр подводимой энергии. Это происходит потому, что стационарный вихрь - система не устойчивая по отношению к малым отрицательным возмущениям центростремительной силы. Действительно, при сколь угодно малом ее уменьшении происходит появление положительной радиальной скорости, увеличение радиуса вращения и, таким образом, увеличение центробежной силы, что ведет к дальнейшему

росту радиальной скорости. Таким образом, система распадается за счет первоначально имеющейся в стационарном состоянии энергии вращательного движения, которая при указанной динамике переходит в энергию радиального движения. Следует отметить, что предлагаемый метод борьбы с торнадо имеет большие перспективы развития и в горнорудной промышленности. На сегодняшний день наибольший интерес представляет добыча урановой руды, которая поспособствует созданию и развитию промышленных предприятий, производящих топливные единицы для специфических отраслей. Однако развитие подобных перспектив крайне ограничено ввиду отсутствия возможности проведения работ по добыче и извлечению урановых руд в сейсмически активных областях. Распространение ядерной энергетики стало бы ключевым из инструментов наращивания темпов производства энергии. В противовес возможным перспективам ставится существование на интересующих производственных объектах опасности возникновения смерчей (торнадо). Метод, описываемый в статье, при малых энергозатратах позволяет бороться с торнадо, что поспособствует освоению новых территорий.

Таким образом, предлагаемый метод кардинально изменит представление о методах борьбы с торнадо, не станет причиной серьезного производственного ущерба (энергозатраты метода значительно ниже энергии самого торнадо), позволит повысить эффективность производства. За счет освоения новых территорий (которые ныне не доступны по причине наличия угрозы возникновения смерчей) возможно будет возрождение ядерной промышленности, обеспечения эффективной разработки энергетического комплекса и улучшения экономической ситуации в связи с вышеописанными факторами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Feldman B.* Method of and system for destabilization and destruction of dangerous atmospheric phenomena mainly tornado // US 20020088364 A1. - 2002.
2. *Nelson R.H.* Tornado disarming network // US 20100001118 A1. - 2010.
3. *Gravina M.B.* Thermal Energy Radiance Expander // US 20100276533 A1. - 2010.
4. *Yi H.* Tornadoes dynamic teardown system (TDTS) / H. Yi, J. Yi // US 20040149156 A1. - 2004.
5. *Bissel A.M.* Methods and apparatus for destabilizing tornadoes // WO 2013155051 A1. - 2013.
6. *Simmons G.A*. Overview of the NASA MARIAH project and summary of technical results / G.A. Simmons, G.L. Nelson // AIAA 1998-2752 Albuquerque, NM. June 1998.
7. *Kolosov V.Yu.* Effect of acoustic dispersion on the propagation of a shock wave in a glow discharge / V.Yu. Kolosov et al. // Proceedings of 9th International Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conference, Norfolk, VA, Nov. 1-5, 1999, AIAA. - 1999. - 4882.
8. *Golyatin V.Yu.* Effect of External Power Supply to a Shock Layer on the Shock Wave Structure / V.Yu. Golyatin, V.V. Kuchinskiy, V.S. Sukhomlinov // Technical Physics. – 2005. -Vol. 50. No. 5. - P. 582-589.
9. *Gurijanov E.P.* AJAX – new directions in hypersonic technology / E.P. Gurijanov, P.T. Harsha // AIAA 1996-4609 , Norfolk VA, November 1996.
10. *Gerasimov N.A.* Optimization of Supersonic Flows Past Thin Bodies by Using External Effects on the Flow / N.A. Gerasimov and V.S. Sukhomlinov // Technical Physics. – 2010. - Vol. 55. No. 11. - P. 1553-1557.
11. *Sheverevand V.A.* Evolution of a vortex in glow discharge plasma / V.A. Sheverevand M.V. Otugen, V.S. Sukhomlinov // Physics of Fluid. - 2005. - V.17. №5. – P. 1-4.
12. *Sukhomlinov V.S.* Evolution of a Vortex in Gas-Discharge Plasma with Allowance for Gas Compressibility / V.S. Sukhomlinov and A.S. Mustafaev // Technical Physics. - 2016. - Vol.

61 No. 9. - P. 1328-1336.
13. *Gerasimov N.* Acoustic wave propagation in uniform glow discharge plasma at an arbitrary angle between the electric field and wave vectors / N. Gerasimov, V.A. Sheverev, V. Sukhomlinov // Journal of Applied Physics. - 2008. – 104(4) - 043301.
14. *Gerasimov N.A.* Propagation of Shock Waves in a Medium with the Rayleigh Energy Release Mechanism / N.A. Gerasimov et al. // Technical Physics. – 2007. - Vol. 52. No. 7. - P. 831-838.

УДК 622.6

АТРОЩЕНКО В.А.,
АБДУЛАЕВ Э.К.,
КУЖЕЛЕВ А.И.
Санкт-Петербургский горный университет

ВЛИЯНИЕ ГИДРОАБРАЗИВНОГО ИЗНОСА НА РЕСУРС НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПЕРЕКАЧКИ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ

Аннотация. В данной статье описаны основные процессы гидроабразивного износа насосного оборудования для перекачки хвостов обогащения. Произведено описание типов и причин гидроабразивного износа. Определены факторы, влияющие на износ деталей грунтовых насосов. Названы части оборудования, наиболее подверженные гидроабразивному износу, а также последствия, возникающие в результате этого износа.

Ключевые слова: гидроабразивный износ, грунтовый насос, износостойкость, гидротранспорт, рабочее колесо.

ATROSHCHENKO V.A.,
ABDULAEV E.K.,
KUZHELEV A.I.
Saint-Petersburg Mining University

IMPACT OF HYDROABRASIVE WEAR TORESOURCE OF PUMP EQUIPMENT FOR PUMPING TAILINGS

Abstract. This article describes the main processes of hydroabrasive wear of pump equipment for pumping tailings. The types and causes of hydroabrasive wear are described. The factors that affect the wear to slurry pump parts are determined. The parts of equipment which are most susceptible to hydroabrasive wear and consequences which are results from the wear are named.

Keywords: hydroabrasive wear, slurry pump, wear resistance, hydrotransport, impeller.

Гидротранспорт на предприятиях минерально-сырьевого комплекса России является важным звеном технологического процесса добычи и переработки минерального сырья. Как показывает анализ работы гидротранспортных систем на горных предприятиях, эффективность использования этого вида транспорта не соответствует его техническим возможностям: высока трудоемкость работ при эксплуатации оборудования, высок гидроабразивный износ грунтовых насосов и трубопроводов, низок рабочий ресурс насосов, высоки металлоемкость и энергоемкость гидротранспортных систем [1, 13].

Гидротранспортное оборудование горнообогатительных комбинатов имеет низкую эксплуатационную надежность, недостаточный рабочий ресурс из-за интенсивного гидроабразивного износа рабочих поверхностей трубопроводов и насосного оборудования, недостатков конструкций некоторых узлов грунтовых насосов и их эксплуатации. Значительный гидроабразивный износ основного элемента конструкции грунтового насоса — рабочего колеса (рис. 1), вызывает дополнительные возмущающие динамические силы, что приводит к повышенной вибрации агрегата и, следовательно, к преждевременному выходу его из строя [2].

а) *б)*

Рисунок 1 - Рабочее колесо грунтового насоса:
а – новое, б – изношенное

Изнашивание частей насосного оборудования для перекачки хвостов обогащения является результатом механического воздействия на их поверхность потока гидросмеси. Природа разрушений может быть объяснена тем, что изнашиваемая поверхность подвергается одновременному воздействию абразивными частицами и гидравлическим ударам воды [3]. Поскольку область воздействия при этом очень мала, то зона максимальных напряжений имеет величину порядка одного или нескольких десятков микрон и соизмерима с размерами отдельных структурных составляющих материала, следовательно, сопротивляемость материала гидроабразивному износу (износостойкость) определяется, главным образом, структурой и свойствами её составляющих. При наличии в сплаве слабой структурной составляющей его износостойкость резко снижается. Повторные действия напряжений приводят к циклической пластической деформации.

Для пластических материалов разрушение происходит при наличии больших тангенциальных усилий, обеспечивающих отделение пластически деформируемых микронеровностей поверхности. При ударе под прямым углом износ будет менее значителен, так как при этом большая часть энергии частицы расходуется на пластическую деформацию поверхности без отделения микрочастиц от последней.

Для твердых и хрупких металлов максимум износа наступит при падении под прямым углом. Практически твердые металлы пластически не деформируются, и для отделения микрочастиц с их поверхности необходим наибольший ударный импульс [4].

Опыты показали, что для мягких пластичных сплавов максимальный износ имеет место при малых углах атаки, а для более твердых и более хрупких сплавов — наибольший износ при ударе под прямым углом.

При скольжении абразивные зерна действуют на изнашивающуюся поверхность посредством как нормальных, так и тангенциальных сил [5]. В этом случае возможны следующие виды механического воздействия зерен на поверхность: срез материала; пластическое оттеснение материала; упругое оттеснение.

Микрорезание материала путем образования пластического выдавливания или вырезания, а также путем образования царапин в результате хрупкого разрушения наступает обычно при внедрении абразивного зерна на достаточную глубину, т.е. при значительных нормальных нагрузках. При небольших нагрузках зерно скользит по деформированному металлу и под влиянием сил трения образует перед собой валик, вызывая упругое или пластическое оттеснение материала [6].

Многократное воздействие абразивных зерен в одном и том же месте основного тела приводит к перенаклепу материала с образование субмикроскопических надрывов и отделению пластически выдавленного металла. Таким образом, износ материала

происходит вследствие резания, механической усталости за счет многократного деформирования и удаления наплывов пластически деформированного металла [7, 8].

При микрорезании скользящим абразивным зерном интенсивность износа в значительной степени зависит от твердости металла, которая по существу характеризует его прочность (предел прочности и предел текучести) [9].

Износ частей насосного оборудования может происходить как в результате срезания микростружек металла, так и за счет выбивания отдельных его частиц.

Для разрушения поверхностного слоя частей насосного оборудования не обязательно наличие абразива с высокой твердостью, способного срезать материал детали. При определенных условиях взаимодействия даже относительно мягкие частицы (например, уголь) могут вызвать локальное пластическое деформирование и затем разрушение материала деталей. Конечно, интенсивность изнашивания при таком механизме разрушения металла во много раз меньше, чем при срезе (удаляются меньшие объёмы материала и требуется многократное прохождение абразивных зерен по одному месту) [10, 11]. В реальных условиях работы деталей грунтовых насосов в процессе изнашивания весьма твердыми частицами, когда разрушение материала происходит путём среза или удара, участвует сравнительно незначительная часть зёрен. Гораздо большая их часть изнашивает поверхность деталей путем локального пластического деформирования. Об этом свидетельствует гладкая поверхность деталей, подверженных общему износу.

Общий износ, как и местный, зависит от изнашивающих качеств потока гидросмеси (скорости, содержания абразивных частиц, их размеров и т.д.) и конструктивных особенностей поверхности (прямолинейная, криволинейная), а также от положения поверхности по отношению к направлению движения потока [12].

В потоке гидросмеси происходит непрерывное чередование случайных мгновенных скоростных полей. На абразивную частицу воздействуют массы жидкости различных скоростей. В некоторые мгновения скорость частиц из-за этого может возрастать в любых направлениях. По этой причине твердые частицы, содержащиеся в потоке, ударяют под различными углами по ограничивающей поток стенке, вызывая тем самым её износ.

В процессе износа частей насосного оборудования для перекачки хвостов обогащения участвует помимо транспортируемого материала и сама жидкость (вода). Она весьма активно влияет на интенсивность изнашивания, усиливая её.

В процессе гидроабразивного износа участвуют три тела: основное тело (части насосного оборудования), изнашивающий материал (абразив) и промежуточное тело (среда).

Все факторы, влияющие на износ деталей грунтовых насосов, можно разделить на две группы.

К первой группе относятся факторы, определяющие величину кинетической энергии гидроабразивного потока, действующего на деталь. Сюда относятся:

1) минералогический и гранулометрический состав транспортируемого материала;

2) скорость прохождения частиц перекачиваемого материала;

3) угол воздействия частицы на рабочую поверхность (угол атаки);

4) форма частиц;

5) концентрация пульпы;

6) время воздействия частиц.

Вторая группа определяется свойствами изнашиваемого и изнашивающих материалов.

Вместе с гидроабразивным износом элементов проточной части насосного оборудования происходит убыль массы его деталей, что приводит к увеличению объёмных утечек и падению КПД, а, следовательно, к значительному перерасходу

электроэнергии на откачку одного кубометра гидросмеси [13].

Наиболее подверженной гидроабразивному износу деталью насосного оборудования является рабочее колесо насоса [14]. Места наиболее интенсивного абразивного износа (a и b) рабочего колеса центробежного насоса показаны на рис. 2.

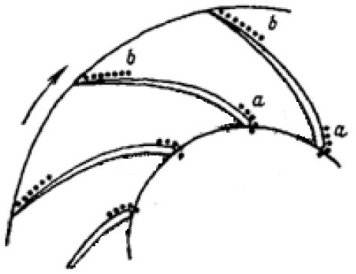


Рисунок 2 - Места наиболее интенсивного абразивного износа (a и b) рабочего колеса

Многолетние наблюдения за среднестатистическими сроками службы основных деталей грунтовых насосов, в условиях хвостовых хозяйств Качканарского, Алмалыкского и Костомукшского горно-обогатительных комбинатов, в период с 2012 по 2017 гг. приведены в табл. 1.

Таблица 1

Среднестатистические сроки службы деталей грунтовых насосов 20Гр-8Т

Наименование деталей	Сроки службы деталей, часов		
	Качканар	Алмалык	Костомукша
Рабочее колесо	760	1320	810
Корпус (спиральный отвод)	800	540	780
Передняя крышка	700	385	820
Задний бронедиск	630	600	620
Подшипники	605	490	650
Сальниковые уплотнения	410	380	450

.

На сегодняшний день гидротранспортное оборудование горнообогатительных комбинатов имеет низкую эксплуатационную надежность, недостаточный рабочий ресурс из-за интенсивного гидроабразивного износа рабочих поверхностей трубопроводов и насосного оборудования, недостатков конструкций некоторых узлов грунтовых насосов и их эксплуатации. Значительный гидроабразивный износ основного элемента конструкции грунтового насоса — рабочего колеса, вызывает дополнительные возмущающие динамические силы, что приводит к повышенной вибрации агрегата и, следовательно, к преждевременному выходу его из строя [13, 15].

В технической литературе по шахтному водоотливу рекомендуют борьбу с абразивным износом насосов производить главным образом за счет:

1) обеспечения условий работы насосов, соответствующих требованиям их заводов-изготовителей;

2) изготовления элементов насоса из материалов, обладающих повышенной коррозионной стойкостью и износостойкостью, включая современные полимерные, углепластиковые, стеклопластиковые и другие композитные материалы;

3) применения раздельных схем откачки неосветленных и осветленных вод [15].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Долганов А.В.* Влияние износа элементов проточной части шахтных насосов ЦНС(К) 300-360 на режимы их работы / А.В. Долганов // Известия УГГУ. - 2012. - №27-28. - С. 110–113.
2. *Александров В.И.* Гидротранспорт сгущенных хвостов обогащения железной руды на Качканарском ГОКе по результатам опытно-промышленных испытаний системы гидротранспорта / В.И. Александров, М.А. Васильева // Записки Горного института. - 2018. - Т.233. - С. 471-479.
3. *Alexandrov V.I.* Energy efficiency of hydraulic transportation of iron ore processing tailings at Kachkanarsky MPP / V.I. Alexandrov, S.A. Timukhin, P.N. Makharatkin // Journal of Mining Institute. - 2017. - Vol. 225. - P. 330-337.
4. *Александров В.И.* Удельная энергоёмкость гидравлического транспортирования продуктов переработки минерального сырья / В.И. Александров, С.Ю. Авксентьев, И.М. Горелкин // Обогащение руд. - 2012. - №3. - С. 39-42.
5. *Воловик Е.А.* Зависимость ресурса шахтных насосов от концентрации твердой фазы в перекачанной воде / Е.А. Воловик // Уголь Украины. - 1988. - № 7. - С. 31-32.
6. *Долганов А.В.* Экспериментальные исследования абразивного износа центробежных насосов / А.В. Долганов, В.С. Великанов, В.И. Савельев // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. - Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ». - 2010. - С. 195-203.
7. *Тимухин С.А.* Проблемы проектирования и эксплуатации комплексов шахтного водоотлива / С.А. Тимухин, А.В. Долганов, А.В. Угольников // Известия УГГУ. - 2014. - №3. - С. 68–74.
8. *Александров В.И.* Оценка эффективности применения полиуретановых покрытий гидротранспортных трубопроводов в сравнении со стальными трубопроводами / В.И. Александров, В.И. Кибирев // Обогащение руд. - 2016. - №6. - С. 51-56.
9. *Alexandrov V.I.* The rheological properties of high concentration slurry at pipeline transportation on example of copper-nickel ore tailings / V.I. Alexandrov, M.A. Vasilyeva // Reports of the XXIII Int. Sci. Symp. "Miner'sweek - 2015". – 2015. - P. 452-460.
10. *Меньшиков С.С.* Коэффициент технического состояния грунтового насоса / С.С. Меньшиков, В.И. Александров // Естественные науки. - 2014. - №4. - С.66-71.
11. *Александров В.И.* Энергоемкость гидравлического транспортирования крупнодисперсных и мелкодисперсных гидросмесей / В.И. Александров, П.Н. Махараткин, С.Ю. Авксентьев // Известия УГГУ. - 2012. - №7. - С. 72-79.
12. *Alexandrov V.I.* Effieciency of using polyurethane-lined pipes in hydrotransport systems of slurry tailings / V.I. Alexandrov, M.A. Vasilyeva, P.A. Vasilyeva // Journal of Physics: Conference Series. - 2018. - Vol. 1118. - P. 1-6.
13. *Заверткин П.С.* Повышение ресурса работы грунтовых насосов снижением интенсивности гидроабразивного изнашивания их элементов в системах гидротранспорта хвостов обогащения: дис. ... канд. техн. наук. 05.05.06. – СПб., 2009. – 231 с.
14. *Menshikov S.S.* Coefficient of technical condition of ground pumps in tail hydro pulp transport systems / S.S. Menshikov, M.A. Vasilyeva // Journal of Mining Institute. - 2014. - Vol. 209. - P. 132-141.
15. *Долганов А.В.* Влияние механических примесей в шахтной воде на работу центробежных насосов / А.В. Долганов, М.Г. Сероноженко // Молодежь, наука, будущее: сб. науч. тр. - Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. - Вып. 10. Т. 1. - С. 3-6.

УДК 669.14: 621.787+621.926.3

АХМЕРОВ Э.В.,
ПЛАЩИНСКИЙ В.А.,
КРИВОКРЫСЕНКО Е.А.
Санкт-Петербургский горный университет

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ СУЩЕСТВУЮЩИХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ БЫСТРОИЗНАШИВАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Аннотация. Представлены результаты испытаний на стойкость к абразивному изнашиванию по электрокорунду стали 110Г13Л в сравнении с другими материалами, в том числе, и со специально разработанными сталями типа Hardox и Miilux. Подтверждено, что порядок расстановки испытанных материалов по возрастанию износостойкости, в основном, совпадает с их расстановкой по увеличению твердости. При этом, износостойкость наиболее твердого из них – стали У8А после закалки примерно в 4 раза выше этого показателя для наименее твердых сталей –25Л, 45 и чугунов СЧ21, ВЧ35. Износостойкость стали 110Г13Л, как и сталей 65Г, У8 в закаленном состоянии от 1,5 до 2 раз выше, чем у зарубежных сталей Miilux 400, Hardox 450, Miilux 500, Hardox 500.

Ключевые слова: быстроизнашиваемые элементы, сталь Гадфильда, стали Hardox, стали Miilux, абразивная износостойкость, электрокорунд.

AKHMEROV E.V.,
PLASHCHINSKY V.A.,
KRIVOKRYSENKO E.A.
Saint-Petersburg Mining University

COMPARATIVE WEAR RESISTANCE OF EXISTING AND PERSPECTIVE MATERIALS OF QUICK WEARING PARTS OF MINING AND CONCENTRATING EQUIPMENT

Abstract. The results of tests on the resistance to abrasive wear by electrocorundum of steel 110G13L in comparison with other materials, including those with specially developed steels such as Hardox and Miilux, are presented. It is confirmed that the arrangement of the tested materials in terms of increasing wear resistance mainly coincides with their arrangement in increasing hardness. At the same time, the wear resistance of the hardest of them - U8A steel after quenching is approximately 4 times higher than this indicator for the least hard - steels 25L, 45 and cast iron SCh21, VCh35. The wear resistance of steel 110G13L, as well as steel 65G, U8 in the hardened state, is from 1.5 to 2 times higher than that of foreign steels Miilux 400, Hardox 450, Miilux 500, Hardox 500.

Keywords: quick wearing parts, Hadfield steel, Miilux steel, Hardox steel promising steels, abrasive wear resistance.

В настоящее время значительную часть эксплуатационных затрат на добычу и обогащение полезных ископаемых составляют затраты на замену быстроизнашивающихся элементов используемого оборудования. В связи с этим задача повышения их износостойкости является весьма актуальной, о чем свидетельствует значительное количество исследований, посвященных этому вопросу [1-12]. Наиболее

часто используемым материалом для изготовления указанных элементов является сталь 110Г13Л (0,9-1,4 С; 11,5-15,0 Mn; 0,5-1,0 Si % масс.), известная по имени своего изобретателя, как сталь Гадфильда. Ее используют в течение десятилетий и пока для изделий, подвергающихся ударным нагрузкам, не нашли равноценной замены.

Принято считать [13], что при чисто абразивном воздействии сталь 110Г13Л не имеет существенных преимуществ в износоустойчивости перед другими сталями такой же твердости, в то время как в условиях, когда трение по абразиву сопровождается ударами и большими давлениями, приводящими к наклепу, сталь приобретает исключительно высокую износостойкость. Хотя, как показано в работах [14, 15], при изнашивании по породам большей твердости значительные удельные нагрузки, как и ударные воздействия, не приводят к повышению износостойкости стали Гадфильда, что подтверждается на практике. По этой причине для изготовления быстроизнашивающихся элементов горной техники пытаются применять новые, специально разработанные, стали типа Hardox (H400, H500), Miilux (M450, M500) и др., хотя их преимущества в износостойкости в литературе в достаточной степени не отражены.

Целью настоящей работы являлось определение износостойкости стали 110Г13Л в сравнении с указанными и другими материалами при их изнашивании по электрокорунду. Предварительно взвешенные цилиндрические образцы материалов с постоянным усилием прижимались торцом к абразиву и, передвигаясь по его поверхности, подвергались изнашиванию с периодическим повторным взвешиванием и изменением места контакта с абразивом. Строилась зависимость суммарной убыли массы образца от продолжительности воздействия абразива, которая экстраполировалась прямой линией. Тангенс наклона линии принимался за скорость изнашивания материала V_i, а величина обратная V_i – за его износостойкость I_i. Результаты сравнительных испытаний иллюстрирует рис 1.

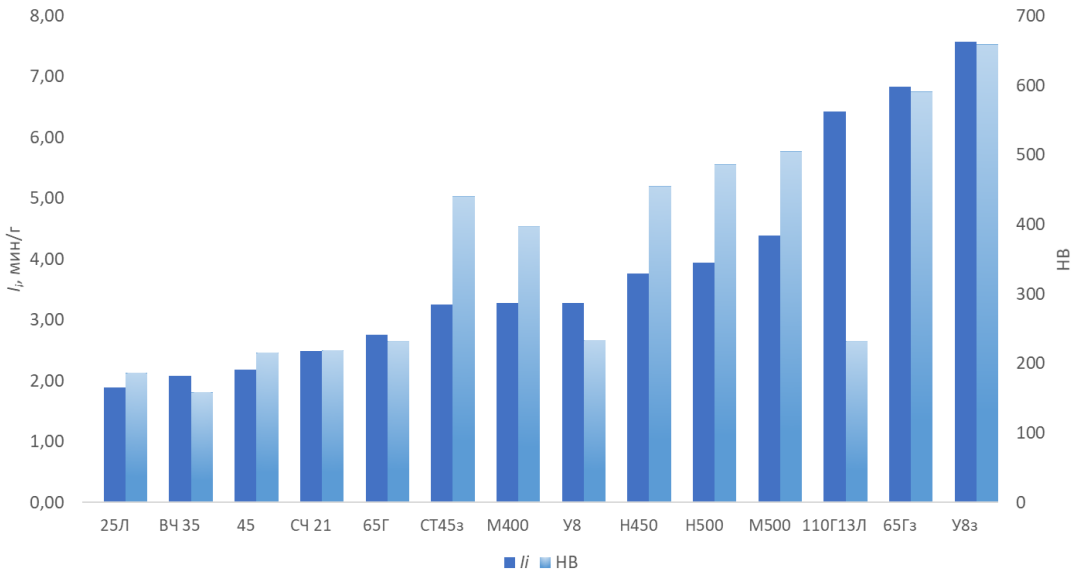


Рисунок 1 – Сравнительные износостойкости и твердости анализируемых материалов

Оказалось (рис. 1), что порядок следования испытанных материалов по возрастанию износостойкости I_i, в основном, совпадает с их расстановкой по увеличению твердости, что находится в соответствии с общепринятой точкой зрения [16]. При этом, их I_i существенно разнятся: для наиболее твердого материала (стали У8 после закалки) она примерно в 4 раза выше чем у сталей 25Л, 45 и чугунов СЧ21, ВЧ35. Износостойкость сталей М400, Н450, Н500, М500 близка к износостойкости

высокоуглеродистых сталей 65Г и У8. Сталь 110Г13Л демонстрирует величину I_i, превышающую этот параметр для сталей М500, Н500 в 1,5 раза, для сталей М400, Н450 – в 2 раза.

Вследствие важности полученных результатов для практики, вывод о более низкой износостойкости сталей Hardox 400, Hardox 500, Miilux 450, Miilux 500 по сравнению с традиционно используемой сталью Гадфильда в условиях изнашивания по высокоабразивным твердым породам требует дополнительной экспериментальной проверки.

Работа выполнена под руководством профессора Болобова В.И.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Prokopenko S.A.* Recovery of worn-out picks in rock breaking / S.A. Prokopenko, A.V. Vorobiev // Eurasian Mining. - 2018. - No. 1. - P. 27-30.
2. *Прокопенко С.А.* Разработка комбайновых резцов нового класса // С.А. Прокопенко, В.С. Лудзиш, И.А. Курзина / Горный журнал. – 2017. - №2. – С. 75-78.
3. *Krasnyy V.A.* The use of nanomaterials to improve the wear resistance of machine parts under fretting corrosion conditions // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2019. - 560(1). – 012186.
4. *Zverev E.A.* Integrated quality ensuring technique of plasma wear resistant coatings / E.A. Zverev et al. // Key Engineering Materials. – 2017. - 736. - 132-137
5. *Zykova A.* Influence of W addition on microstructure and mechanical properties of Al-12%Si alloys / A. Zykova et al. // Materials. – 2019. - 12 (6). – 981.
6. *Буевич В.В.* Совершенствование исполнительных органов проходческо-очистных комбайнов «Урал» / В.В. Буевич [и др.] // Горный журнал. - 2016. - №4. - С. 52-56.
7. *Sivenkov A.V.* Creating a model of diffusion deposition of metal coatings from melts of low-melting metals / A.V. Sivenkov et al. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2019. - № 560. - P. 1-6.
8. *Сагарадзе В.В.* Структура и свойства плакированной двухслойной стали для корпусов арктических судов / В.В. Сагарадзе [и др.] // Вопросы материаловедения. - 2015. - № 3 (83). - С. 14-25.
9. *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 // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2017. - 87(2). - 022003.
10. *Bolobov V.I.* The investigation of the influence of thermomechanical treatment of the material of rotary cutter bit toolholders on its hardness / V.I. Bolobov, S.A. Chupin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2017. – Vol. 177(1). - 012062.
11. *Chupin S.* Influence of Thermomechanical Treatment Modes on Wear Resistance of Mining Equipment Material / S. Chupin, V. Bolobov // Materials Science Forum. – 2019. - Vol. 945. - P. 695-699.
12. *Bolobov V.I.* About the use of 110G13L steel as a material for the excavator bucket teeth / V.I. Bolobov, S.A. Chupin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2019. - 378(1). - 012005.
13. *Гуляев А.П.* Металловедение. - М.: Металлургия, 1986. - 544 с.
14. *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.
15. *Болобов В.И.* Износостойкость стали 110Г13Л в различных абразивных средах / Болобов В.И. [и др.] // Записки Горного института. – 2014. – Т. 209. – С. 17-22.
16. *Хрущов М.М.* Исследования изнашивания металлов / М.М. Хрущов, М.А. Бабичев. - Акад. наук СССР. Ин-т машиноведения. – М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1960. – 351 с.

УДК 623.486

БАБИКОВ А.И.
Санкт-Петербургский горный университет

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТОИР КОМПЛЕКСА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН ДРОБИЛЬНО-СОРТИРОВОЧНОГО ЦЕХА

Аннотация. Показан путь совершенствование системы ТОиР комплекса технологических машин дробильно-сортировочного цеха, от стратегии ППР к смешанной стратегии технического обслуживания с применением политики управления отказами. Приводится методология создания политики управления отказами путем применения методов RCM, таких как определение приоритета риска с применением индекса критичностии выбор мер по техническому обслуживанию с применением логического дерева.

Ключевые слова: техническое обслуживание, оценка рисков и отказов, методы RCM комплекс технологических машин.

BABIKOV A.I.
Saint-Petersburg Mining University

IMPROVEMENTS TO THE MAINTENANCE AND REPAIR SYSTEM OF THE CRUSHING AND SCREENING SHOP'S TECHNOLOGICAL MACHINE COMPLEX

Abstract. The way of improvement of maintenance and repair system of a complex of technological machines of crushing and screening shop is shown, from strategy of ERP to mixed strategy of maintenance with application of failure management policy. The methodology of creation of failure management policy by applying RCM methods, such as determination of risk priority by applying criticality index and selection of maintenance measures using logical tree is given.

Keywords: maintenance, risk and failure assessment, methods RCM, complex technological machines.

Существующая стратегия технического обслуживания и ремонта (ТОиР) комплекса технологических машин дробильно-сортировочного цеха реализуется с применением стратегии предупредительных ремонтов. Данная стратегия не всегда эффективна. Особенно применительно для разноресурсного оборудования единого комплекса. Это приводит к неоправданно высоким затратам на ТОиР и простою оборудования [1].

Для решения данной ситуации требуется применение смешанной стратегии технического обслуживания в рамках политики управления отказами.

Практика применения смешанной стратегии ТОиР показывает, что при её применении сокращаются затраты на обслуживание, снижается их количество, повышается надежность системы в целом.

При этом необходимо иметь диагностическую базу, наличие методик определения технического состояния и прогнозирование остаточного ресурса, позволяющее определять периодичность, виды, объем ТОиР единой технической системы; обучение персонала; контролепригодность объекта. При этом гарантированный уровень технической готовности комплекса технологических машин дробильно-сортировочного цеха достигается путем проведения целенаправленных

ежегодных корректирующих ремонтов и применением в системе политики управления отказами. Это позволяет анализировать риски эксплуатации работоспособного оборудования, и на основании их назначать экономически и ресурсно-оправданное техническое обслуживание [2].

Политика управления отказами создается по методологии надежностно-ориентированного технического обслуживания, то есть по системе RCM.

Для этого необходимо сформировать перечень основного технологического оборудования, провести паспортизацию, систематизировать информация о выполняемых работах по ТОиР, иметь достоверные данные по затратам на ТОиР – как плановым, так и фактическим, статистику по дефектам, отказам и их последствиям, по простоям с указанием их причин.

На начальном этапе разработки исходными данными могут быть только графики отказов оборудования, но при дальнейшей работе для увеличения точности системы нужно внедрение на предприятии информационной системы управления ТОиР (ИСУ ТОиР). Одна из функций данной системы – этофиксация всех ремонтных работ, проведенных на оборудовании, может быть выполнена путем ведения документации, по форме (рис. 1).

Системный анализ RCM - История оборудования			
Дата	Установка:		Расположение
Имя системы:			Аналитик
Расположение системы:			
Компонент	Дата	Режим порчи:	Причина порчи:

Рисунок 1 - Типичный бланк работ

Далее требуется выделить приоритеты в оборудовании, провести его ранжирование его в порядке убывания индекса критичности отказов и провести идентификацию объектов, вошедших в верхнюю часть списка. В качестве индекса критичности используют RPN (Risk Priority Number) – значение приоритетности риска, рекомендуемое стандартом [3]:

$$RPN = SOD, \quad (1)$$

где: S – тяжесть последствий отказа данной единицы оборудования, O – вероятность отказа этого оборудования в течение определенного периода времени, D – вероятность, что отказ не будет обнаружен до проявления его последствий.

Множители, входящие в RPN, определяются как ранг по шкале от 1 до 10, из этого следует, что величина RPN будет изменяться от 1 до 1000. При этом значения диапазонов: 1-249 – некритичные; 250-499 – малокритичные; более 500 – критичные, соответственно.

Тяжести последствий отказа S представлены в табл. 1.

Ранг вероятности отказа O устанавливают пропорционально частоте отказов данного оборудования (число отказов в сутки, в неделю, в месяц, в год). Эти данные должны накапливаться в ИСУ ТОиР по ходу эксплуатации оборудования [5].

При интервале равном 24 ч шкала отказов представлена в табл. 2.

При назначении вероятности D учитывают наличие технических средств и операций контроля, позволяющих обнаружить появление и развитие потенциального отказа до проявления его последствий и за время, достаточное для предотвращения его отказа. Таким образом, вместо фактической вероятности обнаружения, отказы ранжируют по наличию возможности их обнаружения на основании табл. 3.

Таблица 1

Шкала тяжести последствий отказов [4]

S	Последствия отказа системы
10	Создает угрозу здоровью и жизни людей, причиняет существенный вред окружающей среде, высокий риск получения обязательных предписаний надзорных органов и привлечение к уголовной ответственности
9	Влечет нарушение требований законодательства промышленной безопасности, высокий риск получения обязательных предписаний надзорных органов и привлечение к административной ответственности
8	Влечет потерю основной функции оборудования.
7	Оборудование в работоспособном состоянии, но работает не эффективно.
6	Влечет потерю вспомогательных функций оборудования. Оно работает со значительным отклонением от технологии производства.
5	Влечет снижение степени выполнения вспомогательных функций
4	Целостность, шумность и вибрация оборудования не соответствует требованиям, и это замечают более 75% эксплуатационного персонала
3	Целостность, шумность и вибрация оборудования не соответствует требованиям, и это замечают около 50% эксплуатационного персонала
2	Целостность, шумность и вибрация оборудования не соответствует требованиям, и это замечают менее 25% эксплуатационного персонала
1	Последствий нет

Таблица 2

Шкала вероятности отказов

O	Категория частоты	Средний срок службы между отказами, сутки
10	Частный отказ	менее 1
9		2-5
8	Вероятный отказ	6-7
7		8-10
6	Возможный отказ	11 - 30
5		31 - 100
4	Редкий отказ	101 - 200
3		201 - 400
2		401 - 1000
1	Невероятный отказ	более 1000

Принятая политика управления отказами должна привести к снижению *S*, *O* или *D* соответствующего оборудования. В свою очередь, это ведет к уменьшению *RPN* критичных и умеренно критичных системы. После этого проводят повторно перечень, выше описанных мероприятий, образующий алгоритм *RCM*. Не существует принципиальных ограничений количества таких циклов.

Совершенствование системы ТОиР комплекса технологических машин дробильно-сортировочного цеха, путем ухода от стратегии ППР к смешанной стратегии технического обслуживания с применением политики управления отказами приведет к снижению экономических затрат ТО и уменьшению простоев оборудования с заданным уровнем надежности [7, 8].

После определения приоритетов отказов переходят к выбору эффективной стратегии ТОиР. Этот выбор осуществляется путем применения логического анализа с использованием «дерева решений» приведенного на рис. 2 [3, 6].

Таблица 3

Шкала вероятности обнаружения отказов

D	Категория возможностей	Возможность обнаружения отказа
10	Недостаток контроля	Контроль не предусмотренили не позволяет обнаружить отказ
9		Контроль проводиться несистематически, операции контроля не выполняются в полном объеме
8	Контроль при остановке	Контроль возможен только при остановке
7	Контроль без остановке	Производиться персоналом субъективно (визуально, тактильно, на слух) без специальных инструментов
6		Производиться персоналом с использованием специальных инструментов
5	Автоматическая система контроля и сигнализации	Контроль осуществляется автоматикой, которая извещает персонал об обнаружение отказа системы
4	Автоматическая система контроля и блокировки	По отдельным параметрам системы автоматика осуществляет контроль и блокировку узлов с потенциальным отказом
3		По всем основным параметрам системы автоматика осуществляет контроль и блокировку узлов с потенциальным отказом
2		Автоматика выявляет причины всех потенциальных отказов системы и блокирует их
1	Гарантированная безотказность	Автоматика предотвращает причины потенциальных отказов

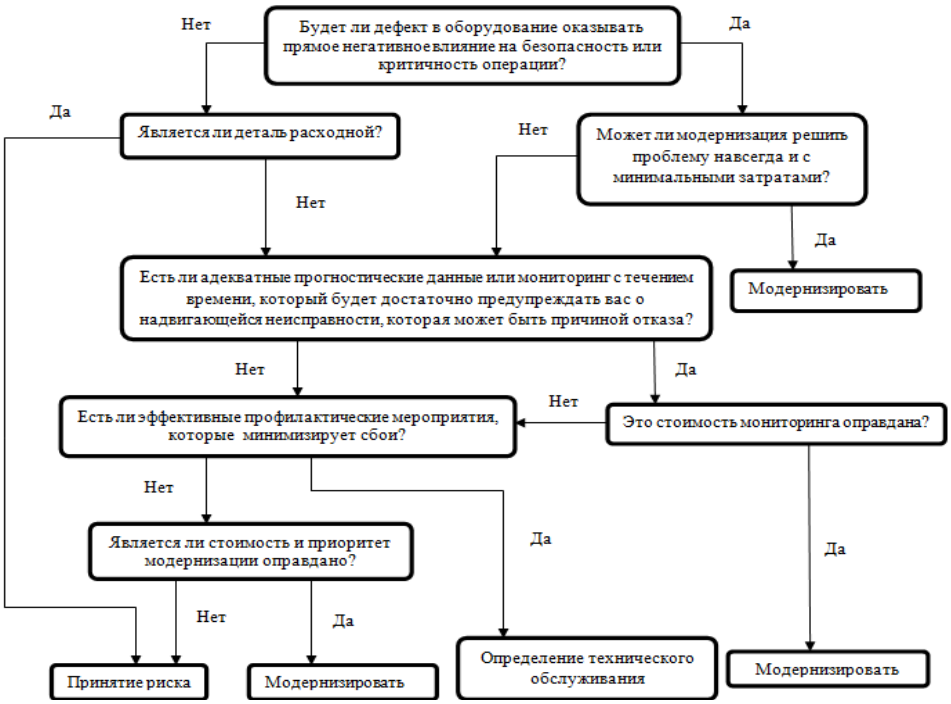


Рисунок 2 - Выбор мер по обслуживанию с использованием логического дерева в *RCM*

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Чуксин А.И.* Повышение надежности и безопасности машинного оборудования проведением его точного технического обслуживания (Mechanical Precision Maintenance) / А.И. Чуксин, С.Л. Иванов // Инновации на транспорте и в машиностроении:

сборник трудов 4 международной научно-практической конференции. Том 2. – СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2016. – С. 172-175.
2. *Чуксин А.И.* Политика управления отказами / А.И. Чуксин, С.Л. Иванов // Актуальные проблемы машиноведения, безопасности и экологии в природопользовании: сборник научных трудов IV Международной научно-практической конференции, 17-18 мая. В 2-х томах. Т. 1. - Тверь: Тверской государственный технический университет, 2018. - С. 286-296.
3. *Viadaković D.* Risk analysis and decision-making in buiding maintenance / *D. Viadaković, S. Marenjak* // Faculty of Civil Engineering, Osijek, Croatia, 2018. - С. 12.
4. ХИМ АГРЕГАТЫ [сайт]: специализированный журнал по химическому оборудованию.
URL: http://himagregat-info.ru/science/tekhnika/nadezhnostno-orientirovannoe-tekhnicheskoe -obsluzhivanie (дата обращения: 7.03.2020).
5. *Чуксин А.И.* Экспериментальная оценка влияния точности монтажа и сборки динамического оборудования на его виброактивность / А.И. Чуксин, С.Л. Иванов // Актуальные проблемы машиноведения, безопасности и экологии в природопользовании: сборник научных трудов IV Международной научно-практической конференции, 17-18 мая. В 2-х томах. Т. 1. - Тверь: Тверской государственный технический университет, 2018. - С. 297-304.
6. *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. – 194. - 022013.
7. *Knyazkina V.I.* About possibility of immediate evaluation of technical condition of mining equipment using signal value of acoustic emission friction / V.I. Knyazkina, K.A. Safronchuk and S.L. Ivanov // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – 560(1). - 012068.
8. *Safronchuk K.A.* Mobile lubrication and filling units to reduce mining machines and equipment downtime when providing maintenance / K.A. Safronchuk, V.I. Knyazkina and S.L. Ivanov // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2019. - 560(1). – 012088.

УДК 621.91: 621.9.042: 004.42: 681.513.2

БАСОВА Т.В.,
БАСОВА М.В.
Балтийский государственный технический университет
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПОЛУЧЕНИЕ ТОЧНЫХ РАЗМЕРОВ ОТВЕРСТИЙ КОРПУСОВ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА СТАНКЕ С ЧПУ

Аннотация. Представлена логическая последовательность САМ-разработки управляющих программ (УП) для обработки точных отверстий на горизонтально-фрезерном станке с ЧПУ с интегрированной токарной осью. Алгоритм разработки УП включает описание набора параметров, применяемых при САМ-программировании технологического перехода, последовательность технологических переходов, а также применение циклов системы измерения RENISHAW. Единый подход обработки позволяет достигать постоянство выполнения заданной точности изготовления с исключением брака внутри партии, с минимизацией времени на внедрение УП.

Ключевые слова: САМ-программирование, обработка резанием, точные отверстия, циклы измерения, технология механической обработки, точность изготовления, система контроля RENISHAW.

BASOVA T.V.,
BASOVA M. V.
Baltic State Technical University
"VOENMEH" named after D.F. Ustinov

AUTOMATED RECEIPT OF EXACT DIMENSIONS OF HOUSING HOUSINGS OF HYDRAULIC SYSTEMS ON A CNC MACHINE

Abstract. The logical sequence of CAM-development of control programs (CP) for processing precision holes on a horizontal CNC milling machine with an integrated rotation axis is presented. The CP development algorithm includes a description of the set of parameters used when programming the CAM technological transition, the sequence of technological transitions, as well as the use of RENISHAW measurement system cycles. A unified approach to processing allows to achieve constancy of productivity of the indicated manufacturing accuracy, with the exception of defective products within the batch, with minimizing the time for the implementation of CP.

Keywords: CAM programming, cutting, precision holes, measurement cycles, machining technology, manufacturing accuracy, RENISHAW monitoring system.

Изготовление сложной корпусной детали гидравлической системы требует введения специальных подходов механической обработки с целью обеспечения требуемого постоянства качества и точности изготовления. Ключевым фактором, отвечающим за обеспечение необходимых технологических свойств, является введение унификации параметров, назначаемых в процессе САМ-разработки УП, с учетом специфики производства. При анализе корпусов гидравлических систем были выявлены однотипные конструктивные элементы, для обработки которых разработаны алгоритмы написания УП. Алгоритмы содержат набор необходимых параметров, задаваемых через САМ-систему, с целью достижения требуемых технологических

свойств и исключения технологических ошибок [1]. Часто встречающейся конструктивной особенностью корпусов гидравлических систем являются отверстия со сложным профилем и пересекающиеся отверстия. В условиях автоматизированного производства обработка сложнопрофильных отверстий на горизонтально-фрезерном станке с ЧПУ с интегрированной токарной осью должна сопровождаться определенными технологическими решениями, с целью исключения: брака внутри партии, применения дополнительных неавтоматизированных операций, таких как измерение размеров при помощи измерительного инструмента, а также ручных слесарных работ [2, 3, 4]. С данными целями для получения на станке в автоматическом режиме точных размеров отверстий был введен активный контроль обрабатываемых отверстий, осуществляемый в виде циклов системы измерения RENISHAW. Обработка точных отверстий назначалась в определенной последовательности технологических переходов [5, 6, 7, 8, 9]. На рис. 1 приведена типовая схема обработки точных отверстий 7–9 квалитета точности в виде алгоритма разработки УП. В алгоритме разработки УП учитываются рекомендации производителей инструмента, применяемого при изготовлении детали [10].

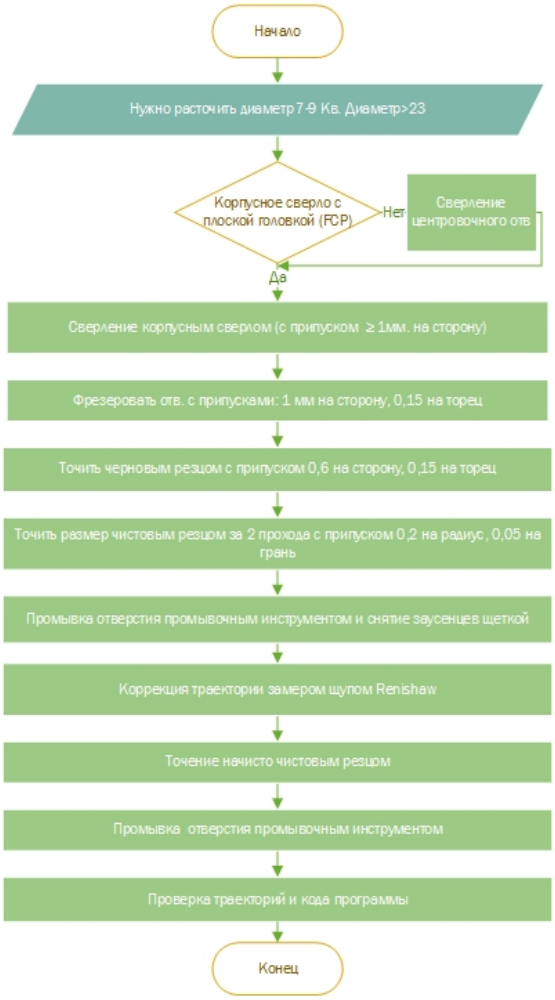


Рисунок 1 - Последовательность разработки УП изготовления отверстий квалитета точности 7–9

Точность и постоянство обработки отверстий 7–9 квалитета точности обеспечивается за счет равномерного распределения припуска между технологическими переходами с обеспечением равномерного съема металла и коррекций траекторий. Для успешной обработки отверстий с малым полем допуска

необходимо учитывать изменения в условиях резания, что особенно актуально при чистовой обработке. С данной целью была введена автоматическая коррекция траектории последнего чистового прохода токарным инструментом, осуществляемая за счет учета результатов промера датчиком RENISHAW получившегося размера технологического отверстия [11, 12, 13]. В процессе программирования цикла измерения отверстия датчиком RENISHAW задаются координаты центра выбранного отверстия, с указанием начала измерения в направлении оси Z (глубины измерения), а также диаметр измеряемого отверстия с вводом расстояния до плоскости безопасности. В цикле измерения диаметр измеряемого отверстия назначается равным разности необходимого диаметрального размера отверстия, в соответствии с серединой поля допуска на размер, и припуска на диаметр, снимаемого чистовым точением. При попадании щупа датчика в процессе измерения на стружку или в пересекающееся отверстие будет неверно выведена величина коррекции траектории чистового прохода, а, следовательно, будет брак. По этой причине перед каждым циклом измерения отверстия вводится промывка. Промывка – это технологический переход очистки отверстия от стружки, осуществляемый вводом специального промывочного инструмента или инструмента с внутренней подачей СОЖ. При наличии в обрабатываемой цилиндрической поверхности пересекающихся отверстий, глубина измерения должна назначаться выше, чем просверленные ранее отверстия.

В процессе разработки УП программируется траектория точения таким образом, чтобы исключить влияние люфта в расточной системе настройкой подходов врезания инструмента в зону резания. Координаты траектории врезания инструмента в материал заготовки должны выводиться из большей координаты (в направлении перемещения токарной оси) в меньшую координату. На рис. 2 приведены траектории чистового и получистового точения точного отверстия, описанные внутри CAM-проекта.

С целью сокращения слесарных операций программируются траектории точения по плавным траекториям, исключающих образование заусенцев в процессе точения. Обеспечение притупления острых кромок пересекающихся отверстий осуществляется введением технологические переходов с применением зачистных щеток фирмы «ХЕВЕС» [14] с расположением данных переходов в тексте УП до циклов измерения отверстий. Заключительный этап разработки УП – проверка траекторий и кода УП [15, 16, 17] с учетом вышеописанных требований.

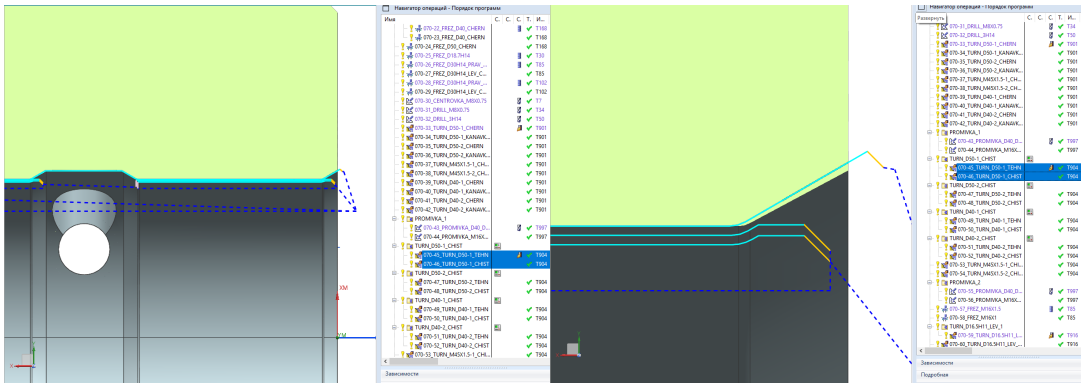


Рисунок 2 – Траектории точения точного отверстия

Эффективность обработки отверстий с малым допуском достигается при равномерном распределении припуска между технологическими переходами и применении активного контроля обрабатываемых размеров. Применение активного контроля обрабатываемого отверстия позволяет автоматически ввести коррекцию траектории УП для учета изменений условий резания. Для правильного расчета величины коррекции траектории по УП, циклы измерения отверстия должны

программироваться с учетом особенностей обработки каждого точного отверстия и сопровождаться технологическими переходами промывки в правильной логической последовательности. С целью исключения ошибки в назначении последовательности технологических переходов и выбора межоперационного припуска между переходами, была введена последовательность САМ-разработки УП в виде алгоритма. Разработанный алгоритм САМ-подготовки УП упрощает программирование УП, а также позволяет исключить брак внутри партии при обработке точных отверстий корпусов гидравлических систем на станках с ЧПУ в автоматизированном режиме.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Казанцев М.С.* Метод оценки трудоемкости разработки управляющих программ для изготовления группы деталей на станках с ЧПУ // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. - 2015. - Т. 58. №4. - С. 322-323.
2. *Штриплинг Л.О.* Совершенствование производства сложных корпусных деталей / Л.О. Штриплинг, М.Г. Попов // Омский научный вестник. - 2009. - №2 (80). - С. 124-128.
3. *Кондаков А.И.* Оценка производительности многоцелевых станков с ЧПУ / А.И. Кондаков, М.А Фесенко // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. - 2015. - №10 (667). - С. 71-75.
4. *Тимирязев В.А.* Повышение эффективности многоцелевых станков путем расширения состава применяемого режущего инструмента / В.А. Тимирязев, С.А. Дудко, И.А. Хворов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2016. - №11. - С. 143-149.
5. *Носов М.В.* Обеспечение качества изготовления прецизионных поверхностей деталей на многоцелевых станках с ЧПУ / М.В. Носов, А.И. Кондаков // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. - 2014. - №6 (651). - С. 56-59.
6. *Штриплинг Л.О.* Обеспечение точности изготовления сложных корпусных деталей, при пятиосевой обработке на основе применения контактного датчика / Л.О. Штриплинг, М.Г. Попов // Омский научный вестник. - 2009. - №3 (83). - С. 88-90.
7. *Соловьёв А.И.* Разработка и принятие рациональных решений при проектировании технологических операций обработки группы отверстий / А.И. Соловьёв, Ш.И. Джафарова // Машиностроение и компьютерные технологии. - 2015. - №12. - С. 11-15.
8. *Кольцов А.Г.* Применение контрольно-измерительных систем на станках с ЧПУ / А.Г. Кольцов, С.В. Вахмянина, И.М. Чумаченко // Динамика систем, механизмов и машин. - 2016. - №1(1). - С. 330-334.
9. *Сухинин В.Б.* Способы и условия обеспечения точности технологического оборудования // Омский научный вестник. - 2010. - №2 (90). - С. 54-55.
10. Электронный каталог фирмы ISCAR [Электронный ресурс]. https://www.iscar.com/eCatalog/Products.aspx?mapp=DR&app=0 (Дата обращения: 15.03.2020).
11. *Максимов Ю.В.* К вопросу об обеспечении точности обработки на станках с ЧПУ / Ю.В. Максимов [и др.] // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. - 2012. - №2(14). - С. 129-130.
12. *Авдеев В.Б.* Оценка безотказности токарных станков с ЧПУ по параметрам точности обработки // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. - 2012. - №2(14). - С. 158-164.
13. *Надольский М.А.* Оценка влияния погрешностей станка с ЧПУ на точность обработки поверхностей корпуса режущего инструмента под сменные неперетачиваемые пластины (СНП) // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. - 2012. - №2(14). - С. 138-140.

14. Щетки Xebec [Электронный ресурс].
:http://www.vetki.ru/articles/xebec-technology.html (Дата обращения: 12.03.2020).
15. *Маданов А.В.* Применение CSE-технологии для верификации управляющих программ в среде nx 8.0 / А.В. Маданов, А.Р. Гисметулин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2013. - №4 (4). - С. 860-864.
16. *Аверин В.В.* Автоматизация проектирования управляющих программ / В.В. Аверин, В.С. Гусельников // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. - 2010. - Т.53, №6. - С. 67-71.
17. *Васильев Н.С.* Место системы Vericut в технологической подготовке современного производства / Н.С. Васильев, К.П. Помпеев // Металлообработка. - 2014. - №4 (82). - С. 50-52.

УДК 621.8

БЕЛОВ Н.В.
Санкт-Петербургский горный университет

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВАЛА ТИХОХОДНОЙ СТУПЕНИ РАЗДАТОЧНОЙ КОРОБКИ ДЛЯ БУРОВОЙ УСТАНОВКИ УРБ-2А-2

Аннотация. В данной работе рассмотрен технологический процесс изготовления детали «вал» тихоходной ступени раздаточной коробки буровой установки. Была предложена методика совершенствования действующего производственного процесса посредством использования двухшпиндельного токарно-обрабатывающего центра.

Ключевые слова: двухшпиндельные токарные станки, изготовление валов, совершенствование производства.

BELOV N.V.
Saint-Petersburg Mining University

IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF MANUFACTURING THE LONG SHAFT OF THE TRANSFER BOX FOR THE DRILLING RIG URB-2A-2

Abstract. In this work, the technological process of manufacturing a shaft was considered. To ensure the production of products that meet the requirements of the time, there is a need on the market for the introduction of advanced methods and means of production. A methodology for improving production through the use of a twin-spindle turning center was proposed.

Keywords: duplex lathes, shaft manufacturing, production improvement.

Машиностроение - одна из главных отраслей промышленности. В XXI веке на него приходится примерно 35% стоимости всей мировой продукции. Прогресс в данной отрасли достигается за счет внедрения принципиально новых конструкций машин и технологии их изготовления. В связи с этим, машиностроение является одной из самых наукоемких областей современного производства.

Нельзя не заметить активное применение компьютерных технологий, благодаря которым появилась возможность совершенствования действующего производства за счет применения робототехнических комплексов (РТК) и специализированных машин, имеющих наибольшую эффективность. Их использование позволяет сократить производственные площади, время изготовления продукции, а также уменьшить затраты на рабочий персонал.

Исходя из этого, можно сделать вывод, что для успешного развития любого предприятия применяемые на нем технологические процессы нуждаются в постоянной доработке. В данной статье мы рассмотрим совершенствование технологического процесса изготовления детали - вал тихоходной ступени длинный раздаточной коробки (рис. 1) для буровой установки УРБ-2А-2 (рис. 2).

В дальнейшем предложенный технологический процесс может быть использован на ООО «Завод Буровых Технологий».

Рисунок 1 – Вал тихоходной ступени длинный

Рисунок 2 – УРБ-2А-2

Буровая установка УРБ-2А-2 предназначена для разведочного бурения. Необходимо отметить, что эта установка уже прошла проверку временем и пользуется большим спросом среди буровиков по всему миру. В список ее возможностей входят: инженерные изыскания, поиск полезных ископаемых и водяных горизонтов, бурение под строительные цели и др. [1]. По этой причине потребность в запасных частях для УРБ-2А-2, в том числе и детали «вал» тихоходной ступени раздаточной коробки, будет только расти.

Для выявления недостатков существующего технологического процесса детали «вал», рассмотрим базовую маршрутную карту (табл.1).

Таблица 1

Маршрутная карта базового технологического процесса

Номер операции	Наименование операции	Оборудование
005	Заготовительная	Пила ленточная по металлу HBS-1018
010	Токарная	16К20
015	Токарная	16К20
020	Слесарная	2Н135
025	Термическая	Керамическая печь сопротивления ПВП 500/1.5
030	Токарная ЧПУ	ST-30Y
035	Фрезерная	6Р12
040	Термическая	Установка индукционного нагрева IHM 100-8-50
045	Зубофрезерная	5Е32
050	Зубофрезерная	5Е32
055	Контроль	Стол контрольный

В соответствии с имеющимся технологическим процессом, детали передаются партиями со станка на станок.

Очевидным достоинством данного технологического процесса является то, что основную часть оборудования составляют универсальные станки и оснастка, но из этого следует и главный его недостаток - большое количество используемых станков, приводящее к длительному циклу обработки [2].

Так, например, в действующем технологическом процессе есть две токарные операции, что приводит к необходимости переустанавливать заготовки, во время чего происходит смена технологических баз. Затем следует слесарная операция, где проводится целый ряд работ: разметка отверстий, их сверление и нарезание в них

резьбы. В условиях серийного производства все эти операции можно было бы объединить в одну.

В качестве решения данной проблемы предлагается применение двухшпиндельного токарно-обрабатывающего центра с ЧПУ.

Рассмотрим токарный станок серии DS-30Y производства фирмы HAAS (рис. 3), так как предприятие ООО «Завод Буровых Технологий» уже имеет опыт эксплуатации оборудования данной компании.

Рисунок 3 – Токарно-револьверный центр HAAS DS-30Y с ЧПУ

Токарные станки серии DS-30Y с осью Y обеспечивают возможность двухшпиндельной обработки по оси Y, комплектуются осью C и приводными инструментами и представляют собой мощные универсальные обрабатывающие станки для любого типа производства. Для расширения возможностей обработки доступны фрезерование со смещением от центра, сверление и нарезание резьбы метчиком. Техническая оснащенность данного станка способна обеспечить производство целым рядом преимуществ [3]:

- Во-первых, при объединении нескольких операций в одну уменьшается станочный парк предприятия, необходимый для создания этой продукции, вследствие чего появляются дополнительные площади, которые в дальнейшем могут быть использованы для наращивания производственных мощностей посредством экстенсификации.

- Во-вторых, при проведении обработки детали на одном станке сокращается число вспомогательных операций, таких как установка, закрепление и снятие заготовки, снижается длительность организационных мероприятий, связанных с обслуживанием оборудования, что в свою очередь приводит к существенному уменьшению штучного времени.

- В-третьих, за счет автоматизации процесса обработки и минимизации влияния человеческого фактора повышается качество продукции, а именно, точности геометрии и размеров детали и чистоты обрабатываемой поверхности.

- В-четвертых, использование программного обеспечения для ориентирования отверстий и пазов позволит сократить затраты на разработку, изготовление и ремонт станочных приспособлений.

Также можно повысить эффективность обработки, заменив стандартные сменные пластины из твердых сплавов режущей керамикой [4-11]. Главными причинами применения керамического инструмента при изготовлении элементов деталей горных машин, являются увеличение ресурса работы инструмента, уменьшение затрат за счет возможной замены в дальнейшем шлифовальных операций обработкой резанием и сокращение времени обработки за счет значительного увеличения скорости резания [2, 6, 8].

На основе полученных данных предлагается новый технологический процесс

изготовления вала (табл. 2):

Таблица 2

Маршрутная карта нового технологического процесса

Номер операции	Наименование операции	Оборудование
005	Заготовительная	Пила ленточная по металлу HBS-1018
010	Токарная ЧПУ	DS-30Y
015	Термическая	Керамическая печь сопротивления ПВП 500/1.5
020	Токарная ЧПУ	DS-30Y
025	Термическая	Установка индукционного нагрева IHM 100-8-50
030	Зубофрезерная	5Е32
035	Зубофрезерная	5Е32
040	Контроль	Стол контрольный

Усовершенствованный технологический процесс может позволить повысить производительность снизить трудозатраты и себестоимость изготовления без потери качества.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Завод Буровых Технологий [Электронный ресурс] // www.zavodbt.ru
URL: https://www.zavodbt.ru/burovie-ustanovki/urb/urb-2a2.html (дата обращения: 18.03.2020).
2. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.1 / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Суслова. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 912 с.
3. HAAS F1 Team, official machine tool [Электронный ресурс] // Haascnc.com.
URL: https://www.haascnc.com/ru/machines/lathes/dual-spindle/models/ds-30y.html
(дата обращения: 18.03.2020).
4. *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.
5. *Максаров В.В.* Станочное и инструментальное обеспечение автоматизированного производства / В.В. Максаров, А.Д. Халимоненко. - СПб.: Издательство «Лема», 2018. – 85 с.
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. *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.* 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.

9. *Maksarov V.* Machining quality when lathing blanks with ceramic cutting tools / V. Maksarov, A. Khalimonenko, D. Timofeev // Agronomy Research. – 2014. - Vol. 12 (1). - P. 269-278.
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. - 82030.
11. *Maksarov V.V.* Forecasting performance of ceramic cutting tool / V.V. Maksarov, A.D. Khalimonenko // Key Engineering Materials. – 2017. - Vol. 736. - C. 86-90.

УДК 669.018

БЕЛЯКОВ А.А.,
САЛПАГАРОВ Э.М.
Санкт-Петербургский горный университет

АМОРФНЫЕ МЕТАЛЛЫ КАК МАТЕРИАЛЫ БУДУЩЕГО

Аннотация: Аморфные металлы это вещества, с неупорядоченным расположением атомов в структуре, напоминающие стекло или расплавленное железо. Свойства данных металлов значительно различаются от свойств металлов, с упорядоченным расположением атомов: в среднем, значение прочности аморфных кристаллов выше в 5 раз. На сегодняшний день, потенциал области применения аморфных материалов очень велик, из-за того, что их можно получить как в виде тонкой ленты или проволоки, так и в виде тонкого покрытия.

Ключевые слова: аморфная структура, сплавы, металлы, кристаллическая структура, покрытия, диффузия, ферромагнетик, дислокация.

BELYAKOV A.A.,
SALPAGAROV E.M.
Saint Petersburg Mining University

AMORPHOUS MATERIALS AS MATERIALS OF THE FUTURE

Abstract: Amorphous metals are substances with an disordered arrangement of atoms in the structure, resembling glass or molten iron. The properties of these metals differ significantly from the properties of metals, with an ordered arrangement of atoms. on average, the strength of amorphous crystals is 5 times higher. Today, the potential scope of the application of amorphous materials is very large, due to the fact that they can be obtained both in the form of a thin tape or wire, and in the form of a thin coating.

Keywords: amorphous structure, alloys, metals, crystalline structure, coating, diffusion, ferromagnetic, dislocation.

Современное материаловедение в последние десятилетия обратило внимание на такие конденсированные среды, в которых отсутствует упорядоченный дальний порядок в структуре. Начиная с Дж. Займона и И.В. Золотухина, были начаты исследования аморфных металлов, так называемых металлических стекол, а также причин их уникально высоких свойств по сравнению с обычными кристаллическими структурами.

Изучение подобных структур стало большим шагом в науке о металлах, полностью разрушив в те времена устоявшееся представление о металлах, как понятия, полностью относящегося к кристаллам. Из-за отсутствия привычной кристаллической структуры и схожести структуры со стеклами, металлы с аморфной структурой стали часто называть металлическими стеклами. Так же отсутствие упорядоченной кристаллической структуры значительно сказалось на свойствах металлов и сплавов, значения некоторых из них значительно возросли, что послужило основой для исследований в прикладной сфере.

Получаемая аморфная структура металлов и сплавов приводит к фундаментальным изменениям основных свойств: магнитных, электрических, механических, а также сверхпроводящих и других.

Одним из первых предложенных методов получения аморфной структуры металлов и сплавов была закалка из жидкого состояния. Уже тогда было хорошо известно, что атомы расплавленного металла не имеют фиксированного положения в пространстве и не имеют четко упорядоченной структуры. Логично предположить, что «заморозив» металл с подобной структурой мы получим желаемое. В ходе практических экспериментов было выяснено, что для сохранения аморфной структуры скорость охлаждения расплава должна составлять порядка 10^6-10^8 К/с. При скорости охлаждения выше этих, атомы металла не успевают переместиться для образования кристаллической структуры.

Для достижения подобных скоростей охлаждения были предложены две схожие по подходу модели: струю жидкого расплава под давлением выливают на быстро вращающийся металлический диск, а во втором, жидкий расплав из емкости достается быстровращающимся металлическим диском. В первой, расплав под давлением выливался на вращающийся диск или цилиндр через сопло из корунда или плавленого кварца. Струя, попадая на быстро вращающееся колесо, застывает в виде тонкой ленты шириной до 20 мм и толщиной порядка 40 мкм. Суть второго способа в том, что узкий обод диска захватывает расплав, который формирует тонкую проволоку при застывании, и, в последствие, самопроизвольно отваливается.

Другим методом получения аморфных структур является ионно-плазменное распыление. Суть этого метода состоит в том, что с помощью плазмы, образованной обычно из аргона, выбивают атомы с мишени на образец, на котором образуется пленка из аморфного металла. Скорость охлаждения металла с помощью подобного осаждения составляет порядка 10^{10} К/с, чего хватает даже для многих чистых металлов. В результате такого осаждения образуется пленка толщиной от 1 до 1000 мкм.

Сразу же после практического получения металлических стекол, активно стали проводиться исследования, изменился ли структурная неупорядоченность, свойственная жидкому расплаву или же сформировалась новая, и если сформировалась, то какая. Однако однозначный ответ получить сложно, ввиду того, что некоторые способы были заточены под кристаллические структуры или же поверхность, из чего нельзя сделать однозначные выводы об аморфной структуре и присутствии каких-либо организованных атомных элементов этой структуры.

С развитием методов исследования, с помощью рентгеновской, нейтронной, электронной дифракции, было выяснено, что так называемый ближний порядок все-таки присутствует. Метод компьютерного моделирования наглядно иллюстрирует, что характерная металлам структура (многократно повторяющаяся элементарная ячейка) отсутствует, и вместо стройных рядов атомов, мы наблюдаем хаос в котором постоянным является только количество связей, присущих атомной структуре конкретного металла в кристаллическом состоянии. Однако ближний порядок подобной системы метастабилен, и при нагреве выше $T_{кр}$ структура трансформируется в привычную кристаллическую, с чем и связаны трудности практического применения. Подобная структура является причиной столь необычных свойств. В аморфном состоянии плотность металлов ниже на несколько процентов, зато прочность возрастает на порядок. Это связано с отсутствием в аморфной структуре металлов таких дефектов, как дислокации и границы зерен, а вакансии имеют иную форму и размеры, становясь похожими на узкие щели. По своим свойствам они мало похожи на вакансии, т.к. в подобные пустоты не поместить атом (ввиду большего размера последнего), что препятствует диффузии через подобную структуру.

Относительная неупорядоченность атомов в ближнем порядке оказывает сильное влияние на электрические свойства, значительно увеличивая сопротивление (в 3-5 раз по сравнению с кристаллической структурой) за счет большего столкновения электронов с ионами металла.

Уникальность аморфных ферромагнитных структур в том, что в них, в отличии

от кристаллических ферромагнетиков практически отсутствует магнитная анизотропия. Значительное уменьшение анизотропии магнитных свойств приводит к резкому снижению коэрцитивного поля до 0,01 А/м, таким образом снижая потери на перемагничивание. Также, особенностью аморфных ферромагнетиков является более высокое значение начальной магнитной проницаемости на низких (10^5-10^6 Гц) и высоких частотах (5-15 · 10^6 Гц). Это свойство следует из высокого удельного сопротивления аморфных ферромагнетиков, из-за чего значительно снижаются потери на вихревые токи (токи Фуко).

Наиболее перспективным полигоном для внедрения аморфных металлов являются компьютерные технологии и ЭВМ. В связи со стремлением создать интегральные схемы максимального малого размера, перспективным становится использование металлических стекол как изоляторов, препятствующих атомной диффузии и, следовательно, обеспечивающих более надежную изоляцию рабочих элементов. Также, их свойства значительно увеличат потенциал использования магнитных головок, путем увеличения плотности записи информации. Используя напыление, с высокой намагниченностью насыщения, можно воспроизвести магнитную головку, способную перемагничивать очень малые объекты носителя (порядка 0,1 мкм) и при этом обладать высокой износостойкостью и быть экономически более выгодными.

Основываясь на высоких механических свойствах, существует еще одна из перспективных областей применения аморфных сплавов. Используя ионно-плазменное напыление, создать многослойные сенсорные датчики, которые, ввиду уникальных свойств аморфных структур металла, смогут работать в самых сложных условиях.

Аморфные материалы используют для армирования трубок высокого давления, изготовления металлокорда шин и др. В перспективе возможно применение аморфных сплавов для изготовления маховиков. Такие маховики могут использоваться для аккумулирования энергии и покрытия пиковых нагрузок на электростанциях, для улучшения рабочих характеристик автомобилей и т.д.

Инженеры из Университета Южной Калифорнии получили новый вид металлического стекла, отличающийся повышенной упругостью. Материал сочетает в себе, кажется, несочетаемые свойства – твёрдость, прочность и эластичность. Материал, получивший технологическое название SAM2X5-630, обладает наивысшей ударной прочностью из всех известных металлических стёкол. Материал способен выдерживать сильные удары, при этом он не крошится и не ломается, а возвращает первоначальную форму. Потенциал его применения практически безграничен – начиная от свёрл и бронежилетов и заканчивая имплантатами для укрепления костей и защитой космических спутников.

Из вышесказанного следует, что, в виду уникальности свойств аморфных сплавов, они являются одними из незаменимых материалов, применимых в технике.

Данная работа выполнена под руководством доцента Шахназарова К.Ю.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вьюгов П.Н.* Металлические стекла / П.Н. Вьюгов, А.Е. Дмитренко // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники. – 2004. - №4. С. 185-191.
2. *Глезер А.М.* Аморфно-нанокристалические сплавы / А.М. Глезер, Н.А. Шурыгина. - М: ФИЗМАТЛИТ, 2013 - 452 с.
3. *Золотухин И.В.* Аморфные металлические материалы / Соросовский образовательный журнал. – 1997. - №4. – С. 73-78.
4. Материаловедение: учебник для металлург., машиностроит. и общетехн. спец. вузов /

Ю.П. Солнцев, Е.И. Пряхин; под ред. Ю.П. Солнцева. - Изд. 4-е, перераб. и доп. – СПб.: Химиздат, 2007. – 783 с.
5. *Судзуки К.* Аморфные металлы / К. Судзуки, Х. Фудзимори, К. Хасимото. Под ред. Ц. Масумото. Пер. с япон. – М.: Металлургия, 1987. – 328 с.
6. *Рябов А.В.* Новые металлические материалы и способы их производства: учебное пособие / А.В. Рябов, К.Ю. Окишев. - Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. - 64 с.
7. *Ковнеристый Ю.К.* Объемно-аморфизирующиеся металлические сплавы / Ю.К. Ковнеристый. – М., 1999.
8. *Hideaki Adachi.* Handbook of Sputter deposition Technology / Hideaki Adachi, Tomonobu Hata, KiyotakaWasa. - New York: William Andrew, 2012.

УДК 621.7-4

БИТЮКОВ В.А.
Санкт-Петербургский горный университет

ПРИМЕНЕНИЕ РЕЖУЩЕЙ КЕРАМИКИ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОТКЕ

Аннотация. В данной работе высокоскоростная фрезерная обработка рассматривается как потенциальная промышленная практика, которую в полной мере можно использовать в производственном процессе. Рассматривается возможность применения керамических инструментов при высокоскоростном фрезеровании. Целью работы является возможность ознакомиться с основными определениями и понятиями высокоскоростной обработки, сделав акцент на эффективность применения режущей керамики, а также понять, с помощью каких свойств и методов достигается нужная эффективность инструмента и выяснить подходит ли режущая керамика для высокоскоростного фрезерования или нет.

Ключевые слова: высокоскоростная фрезерная обработка, режущий инструмент, режущая керамика.

BITYUKOV V.A.
Saint Petersburg Mining University

APPLICATION OF CUTTING CERAMICS IN HIGH-SPEED PROCESSING

Abstract. In this paper, high-speed milling is considered as a potential industrial practice that can be fully used in the production process. In high-speed milling, ceramic tools are used. The aim of the work is to familiarize yourself with the basic definitions and concepts of high-speed machining, focusing on the effectiveness of cutting ceramics. And also to understand with what properties and methods the desired tool efficiency is achieved and find out whether the use of cutting ceramics is suitable for high-speed milling or not.

Keywords: high-speed milling, cutting tools, cutting ceramics.

В последнее время в машиностроительном производстве происходит тенденция внедрения в производственный процесс высокоскоростной обработки (HSM – High Speed Machining). Главным отличием высокоскоростной обработки от обычной является то, что скорость при HSM в 5…10 раз больше скорости при обычной обработке. Именно в разности скоростей и заключаются отличия технологического плана между этими видами обработки [1].

Высокоскоростная обработка направлена на получение сложных форм поверхностей (например, поверхностная обработка деталей, имеющих отличные от примитивных поверхности – плоскости, цилиндры и т.п.) [1].

Официальное объяснение HSM было предложено немецким исследователем Карлом Соломоном в 1931 году: «При определенных скоростях резания тепловыделение начинает уменьшаться», что сопровождается уменьшением силы резания. На рис. 1 можно проследить зависимость силы резания от скорости [1].

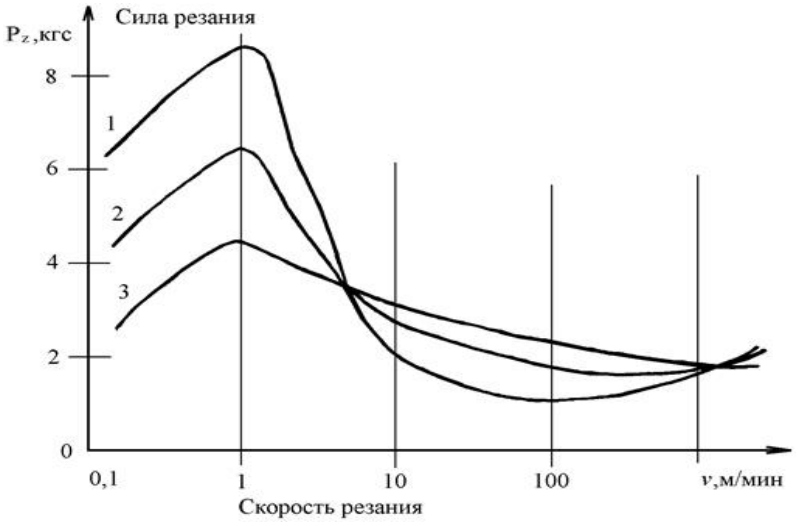


Рисунок 1 – Обобщенная качественная зависимость силы от скорости резания

Эффект HSM обуславливается структурными изменениями материала в месте отрыва стружки. При повышении скорости деформаций силы резания первоначально растут, а потом, с достижением определенной температуры в зоне образования стружки, начинают существенно снижаться. Время контакта режущей кромки с заготовкой и стружкой так мало, а скорость отрыва стружки столь высока, что большая часть тепла, образующегося в зоне резания, удаляется вместе со стружкой, а заготовка и инструмент не успевают нагреваться [1].

В ходе многочисленных исследований и проведенных опытов было установлено, что 75% произведенного тепла отводится стружкой, 20% - отводится через инструмент, а 5% - отводится через обрабатываемую заготовку [1, 2].

Резюмируя вышесказанное, следует отметить, что основным принципом HSM-обработки является то, что наибольшее количество произведенного тепла отводится вместе со стружкой. Также следует отметить, что для HSM-обработки имеется необходимость рационального выбора материала режущей части инструмента.

Технический уровень режущего инструмента определяет производительность и себестоимость обработки, точность получаемых размеров и качество поверхностного слоя. В свою очередь технический уровень определяется материалом режущего инструмента. На рис. 2 представлена классификация современных инструментальных материалов [3].

Рисунок 2 – Классификация современных инструментальных материалов

На сегодняшний день при высокоскоростной обработке чаще всего применяются твердые сплавы, наряду с которыми появилась возможность использовать новый тип инструментальных материалов – керметы (режущую керамику).

Керамику, из которой изготавливают режущие инструменты, можно разделить на несколько групп, которые различаются химическим составом, методом производства и областями применения. К таким группа можно отнести:

- Керамику оксидного типа, на основе оксида алюминия.
- Керамику оксидно-карбидного типа на основе Al_2O_3 и TiC, с некоторыми легирующими добавками тугоплавких соединений.
- Слоистый композиционный материал, состоящий из высокопрочной твердосплавной подложки и одного или нескольких слоев керамического режущего материала.
- Керамику на основе нитрида кремния, с добавками оксидов металлов.
- Керамический композиционный материал на основе оксида алюминия, армированный нитевидными монокристаллами карбида кремния.

Каждая из этих групп керамики имеет свою область применения и диапазон режимов обработки, но общим преимуществом керметов по сравнению с твердыми сплавами являются [4-10]:

- увеличение в 2…3 раза скорости резания при той же подаче;
- больший ресурс стойкости инструмента благодаря более высокому сопротивлению износу;
- лучшая теплостойкость при работе без охлаждающей жидкости;
- лучшее качество образуемой поверхности (Ra = 0,4 мкм);
- большая жесткость инструмента [1].
- возможность обрабатывать не только чугуны и конструкционные стали, но и жаропрочные и закаленные стали и другие труднообрабатываемые материалы [5-12].

Основной особенностью керамики является отсутствие связки. Из-за этой особенности в значительной степени снижается разупрочнение при нагреве, что предопределяет возможность работы инструмента с такими скоростями, которые будут существенно (до 2,5 раз) превышать скорости резания инструментом из твердых сплавов [3].

У режущей керамики имеются и недостатки, а именно, из-за отсутствия связующей фазы у этого материала низкие трещиностойкость, прочность и сопротивляемость циклическим тепловым нагрузкам, поэтому основная область использования режущей керамики - чистовая обработка в условиях жесткой технологической системы. Низкая трещиностойкость керамики является причиной формирования фронта трещин, которые из-за отсутствия пластичной связующей фазы не встречают барьеров, способных затормозить или остановить их развитие (кроме армированного материала). Микро- и макровыкрашивание режущих кромок керамического инструмента является превалирующим, причём не зависит от скорости резания, так как температурный фактор не оказывает заметного влияния на трансформацию механизма изнашивания [1].

Таким образом, подводя итог, можно сказать, что применение керамики как инструментального материала может положительно сказаться на производительности при HSM-обработке. Режущая керамика обладает такими эксплуатационными свойствами, которые лучше отвечают требованиям к инструменту при HSM-обработке, а применение таких видов керамики, как оксидно-карбидная, нитридная и композиционная, положительным образом сказывается на изменение в лучшую сторону таких физико-механических свойств инструмента, как предел прочности на растяжение и изгиб, трещиностойкость, а также стойкость к изнашиванию.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Болотов М.А.* Высокоскоростная и высокопроизводительная обработка (режимы, характеристика станков, инструмент). Электронные методические указания. - Самара: Самарский государственный аэрокосмический университет, 2010. - С. 5-7.
2. *Степанов А.* Высокоскоростное фрезерование в современном производстве // Машиностроение и смежные отрасли. Инженерный консалтинг. - М., 2002.
3. *Зубков Н.Н.* Инструментальные материалы для изготовления лезвийных инструментов. -М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2013. - С. 75-90.
4. *Селезнев А.Е.* Повышение эффективности работ торцевых фрез, оснащенных режущей керамикой, путем диагностирования состояния инструмента при изготовлении деталей из низколегированного чугуна: дис. ... канд. техн. наук. - М.: Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», 2017.
5. *Максаров В.В.* Станочное и инструментальное обеспечение автоматизированного производства / В.В. Максаров, А.Д. Халимоненко. - СПб.: Издательство «Лема», 2018. – 85 с.
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. *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.* 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.
9. *Maksarov V.* Machining quality when lathing blanks with ceramic cutting tools / V. Maksarov, A. Khalimonenko, D. Timofeev // Agronomy Research. – 2014. - V. 12 (1). - P. 269-278.
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. - V. 87. - 82030.
11. *Maksarov V.V.* Forecasting performance of ceramic cutting tool / V.V. Maksarov, A.D. Khalimonenko // Key Engineering Materials. – 2017. - V. 736. – P. 86-90.
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.

УДК 622.271.5

БОРОДКИН Э.О.
Санкт-Петербургский горный университет

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ РУКОЯТИ МЕХАНИЗМА ШАГАНИЯ ДОБЫЧНОГО УСТРОЙСТВА СБОРА МОРСКИХ ЖМК

Аннотация. Для Российской Федерации возможность добычи железомарганцевых конкреций представляет особый интерес, поскольку растет промышленная потребность в минералах, содержащихся в ЖМК. Это связано, также, с практически полным отсутствием марганцевых месторождений на территории нашей страны. Ввиду этого, существует необходимость по закупке этого сырья за границей. Согласно Международному органу по морскому дну (МОМД) за Россией закреплен участок морского дна площадью 75 000 км^2 в зоне Кларион-Клиппертон приэкваториальной части Северо-Восточной котловины Тихого океана для разведки и разработки залежей железомарганцевых конкреций. Однако, если не приступить в ближайшие годы хотя бы к опытной добыче, то эта территория будет выставлена на аукцион и продана другим странам.

Ключевые слова: добычное устройство; агрегат; пластины; конкреции; ЖМК; шагание.

BORODKIN E.O.
Saint Petersburg Mining University

THE RATIONALE FOR THE CONSTRUCTION OF A HANDLE OF A WALKING MECHANISM OF A MINING DEVICE THE COLLECTION OF MARINE FMC

Abstract. For the Russian Federation, the possibility of mining ferromanganese nodules is of particular interest, since the industrial demand for minerals contained in the FMC is growing. This is also due to the almost complete absence of manganese deposits on the territory of our country. In view of this, there is a need to purchase this raw material abroad. According to the International seabed authority (ISA), Russia is assigned a 75,000 km^2 section of the sea floor in the Clarion-Clipperton zone of the North-Eastern basin of the Pacific ocean for the exploration and development of deposits of ferromanganese nodules. However, if we do not start at least experimental mining in the next few years, this territory will be auctioned and sold to other countries.

Keywords. mining device; aggregate; plates; nodules; FMC; stepping.

Разработанная и запатентованная кафедрой машиностроения Санкт-Петербургского горного университета установка захвата конкреций пластинами с полостями разряжения способна передвигаться по дну шаганием. Однако в конструкции этого механизма есть ряд недостатков:

1. Состоит из трёх звеньев, причем промежуточное – выдвижное. Вовремя шагания при полном его выдвижении образуется большое плечо от опоры (пластина прижата ко дну) к оси поворотной цапфы. Данный механизм является ненадежным и может привести к поломке на большой глубине и последующей потери дорогостоящих механизмов.
2. Поскольку механизм сложный, состоит из трёх частей, для их механизации необходимо использовать больше гидроцилиндров. Это приведет к большому расходу

гидрожидкости и необходимости использовать ёмкость большого объема для аккумулирования жидкости.

3. Ввиду сложной и массивной конструкции шагающих лап – повышается металлоемкость, вследствие чего – общая масса добычного агрегата возрастает, что отрицательно сказывается на производительности. Из-за ограничения грузоподъёмности кабель-троса чем меньше масса установки, тем больше полезного ископаемого возможно поднять со дна.

В результате на кафедре машиностроения СПГУ была предложена другая конструкция механизма шагания. Она состоит из двух частей: стрелы и рукояти. Для их движения требуется задействовать всего два гидроцилиндра. Благодаря простоте конструкции, есть возможность обеспечить вылет механизма на значительно большее расстояние и собрать вокруг установки больше ЖМК.

Для подтверждения разработки была создана эскизная компоновка исполнительного органа, его кинематическая проработка и расчет рабочего оборудования. Проектирование механизма движения рукоятей заключается в обеспечении шагания агрегата (рис. 1, 2), захвата конкреций (стрела и рукоять вытянуты в максимальное положение), разгрузки конкреций (рис. 3) в коллектор (стрела и рукоять сложены). Позиционирование гидроцилиндров - основной этап при определении кинематики движения исполнительных органов.

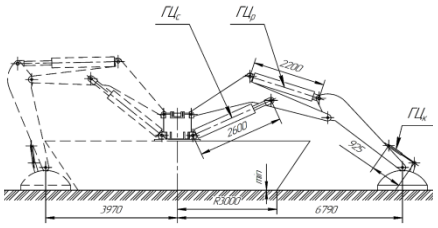


Рисунок 1 – Положение стрелы и рукояти в момент начала шагания

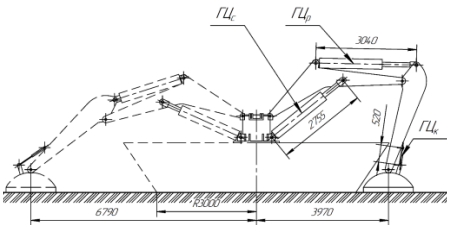


Рисунок 2 – Положение стрелы и рукояти в конце шагания

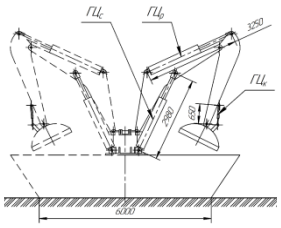


Рисунок 3 – Положение стрелы и рукояти в момент разгрузки

Расчет усилий, оказываемых на гидроцилиндры, показал максимальные нагрузки на штоки, позволил определить диаметры поршней и длины штоков, и необходимый объем гидрожидкости для осуществления движения. Также расчет показал слабые места конструкции для осуществления шагания.

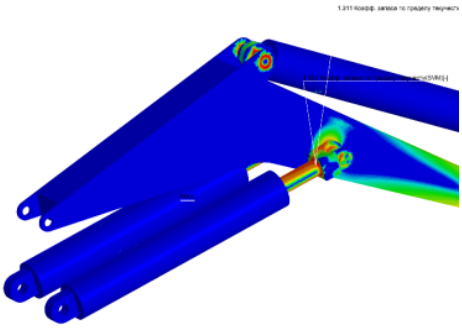


Рисунок 4 – Расчет штоков на прочность

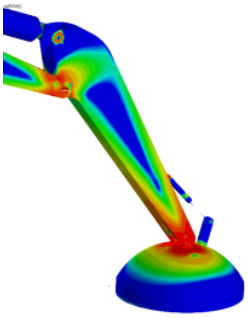


Рисунок 5 - Прочностной анализ рукояти

Согласно расчетным данным весь исполнительный орган был проработан в CAD-программе, что дало возможность проанализировать работоспособность данного механизма, исключив слабые места в конструкции. Учитывая все полученные данные, можно снизить объем металла, что облегчит и удешевит данный агрегат.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Юнгмейстер Д.А.* Расчет параметров исполнительного органа агрегата для добычи конкреций морского дна / Д.А. Юнгмейстер, А.В. Большунов, Д.В. Смирнов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. - №5. - С. 89-94.
2. *Юнгмейстер Д.А.* Комплекс для ведения добычи железомарганцевых конкреций со дна моря / Д.А. Юнгмейстер, Д.В. Смирнов // Горное оборудование и электромеханика. – 2008. - №1. - С. 49-50.
3. *Yungmeister D.* Development of the Construction and Characterization of Deep Complex for Collecting IMC / D. Yungmeister, K. Kireev // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences (RJPBCS). – 2016. – Vol. 7(2). - P. 2086-2091.
4. *Юнгмейстер Д.А., Маховиков Б.С., Смирнов Д.В., Бурак А.Я.* Комплекс для разработки полезных ископаемых шельфовой зоны Мирового океана // Патент Российской федерации №2301338. 2007. Бюл. №17.
5. *Юнгмейстер Д.А., Смирнов Д.В., Большунов А.В., Ветюков М.М., Платовских М.Ю., Смыслов А.А., Гришкин Н.Н.* Способ селективного отбора и предварительного обогащения железомарганцевых конкреций и устройство для его реализации // Патент Российской федерации №2375578. 2009. Бюл. № 34.
6. *Юнгмейстер Д.А. и др.* Придонное добычное устройство для сбора железо-марганцевых конкреций с морского дна // Патент Российской федерации №178978. 2018.

УДК 669.017

ВИНОГРАДОВ Д.А.,
ЖДАНОВ В.В.,
СИДОРЕНКО А.В.
Санкт-Петербургский горный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ И ТВЕРДОСТИ ОБРАЗЦОВ ИЗ СТАЛИ 38ХН3МФА ПОСЛЕ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ ЗАКАЛКИ И ПОСЛЕДУЮЩЕГО ВЫСОКОГО ОТПУСКА

Аннотация. Статья посвящена рассмотрению влияния различных режимов закалки и высокого отпуска на такие механические характеристики, как ударная вязкость и твёрдость. На основе полученных данных был сделан вывод о целесообразности использования конкретных режимов для изготовления длинномерных изделий.

Ключевые слова. закалка; отпуск, твердость; ударная вязкость.

VINOGRADOV D.A.,
ZDANOV V.V.,
SIDORENKO A.V.
Saint-Petersburg Mining University

RESEARCHING OF THE IMPACT STRENGTH AND HARDNESS OF 38ХН3МФА STEEL SAMPLES AFTER VARIOUS QUENCHING MODES AND SUBSEQUENT HIGH TEMPERING

Abstract. This article considers the influence of different quenching modes and high tempering on such mechanical characteristics as toughness and hardness. Based on the data obtained, it was concluded that it is advisable or not to use specific modes for the manufacture of long products.

Keywords. quenching; tempering, hardness; impact strength.

Целью данной работы было исследование ударной вязкости и твердости образцов из стали 38ХН3МФА после различных режимов закалки и последующего высокого отпуска. Для исследования на каждый режим термической обработки было выбрано по семь образцов.

Термическая обработка проводилась по следующим режимам:

1) закалка 870 ºС – масло, 560 ºС – отпуск;
2) изотермическая закалка 870ºС– 650 ºС– масло, 560 ºС – отпуск;
3) изотермическая закалка 870 ºС – 360 ºС – масло, 560 ºС – отпуск;
4) изотермическая закалка 870 ºС – 650 ºС– 360 ºС – масло, 560 ºС – отпуск.

После проведения термической обработки образцы были подвергнуты испытаниям на твердость и ударную вязкость.

Усреднённые по семи образцам данные эксперимента приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения твердости и ударной вязкости стали исследуемой марки

Марка 38ХН3МФА	Режим №1	Режим №2	Режим №3	Режим №4
HRC	39	38	36	38
KCU	83	85	84	85

По средним значениям твёрдости и ударной вязкости была построена гистограмма, представленная на рис. 1.

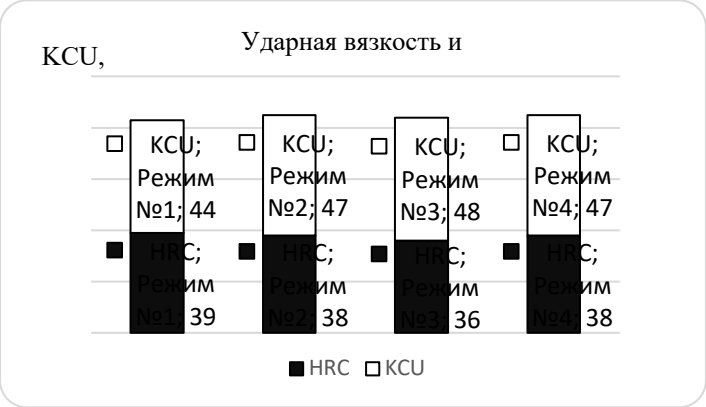


Рисунок 1 – Средние значения твёрдости и ударной вязкости

Анализ полученных в результате эксперимента данных показал, что значения твёрдости и ударной вязкости после проведения различных режимов закалки остаются на одном уровне. На основе этих результатов, можно рекомендовать закалку с выдержкой в промежуточной области, так как она уменьшает риск коробления и трещинообразования.

Данная работа выполнена под руководством доцента каф. Материаловедения и технологии художественных изделий Шахназарова К.Ю.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Солнцев Ю.П.* Материаловедение: Учебник для вузов / Ю.П. Солнцев, Е.И. Пряхин. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2007. – 784 с.
2. *Гуляев А.П.* Металловедение: Учебник для вузов. – 6.-е изд. – М.: Металлургия, 1986. – 544 с.
3. *Новиков И.И.* Теория термической обработки. – М.: Металлургия, 1986. – 480 с.
4. *Счастливцев В.М.* Перлит в углеродистых сталях / В.М. Счастливцев, Д.А. Мирзаев и др. – УРО РАН, 2006. – 311 с.
5. *Солнцев Ю.П.* Материаловедение. Применение и выбор материалов: Учебное пособие / Ю.П. Солнцев, Е.И. Борзенко, С.А. Вологжанинова. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2007. – 200 с.
6. *Курдюмов Г.В.* Превращения в железе и стали / Г.В. Курдюмов, Л.М. Утевский, Р.И. Энтин. - М.: Наука, 1977. - 236 с.
7. *Минкевич Н.А.* Методы определения твердости металлов // ЖРМО. - 1911. – Ч. 1. №6. - С. 731–768.
8. Hanemann H. Закалка и отпуск гипоэвтектоидных сталей / H. Hanemann, R. Kuhnel // ЖРМО. - 1913. – Ч. 2. №5. - С. 565–567.
9. *Shakhnazarov K.Yu.* Substantiation of relation between anomalies in properties of steel melts (at ~ 0.5%C) and presence of intermediate phase ~$Fe_{42}C$ / K.Yu. Shakhnazarov, E.I. Pryakhin // CIS Iron and Steel Review. - 2016. - Vol. 12. – P. 18–21.

УДК 621.9

ГАВРИЛЮК А.А.
Санкт-Петербургский горный университет

РАЗРАБОТКА РОБОТИЗИРОВАННОГО FMS КОМПЛЕКСА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос автоматизации участка цеха механической обработки корпусных деталей, проведен анализ номенклатуры обрабатываемых деталей, произведен анализ вспомогательных операций в условиях роботизированного производства для повышения производительности. Сформированы принципы определения структуры и состава автоматической транспортно-складской системы для создания совместной компоновки этой системы со станочной системой.

Ключевые слова: роботизированный комплекс; гибкие производственные системы; механическая обработка корпусных деталей; автоматическая транспортно-складская система; транспортные потоки.

GAVRILYUK A.A.
Saint-Petersburg Mining University

DEVELOPMENT OF A ROBOTIC FMS COMPLEX FOR MACHINING BODY PARTS

Abstract. The article considers the issue of automating a section of the workshop for machining hull parts, analyzes the range of machined parts, analyzes auxiliary operations in the conditions of robotic production to increase productivity. The principles of determining the structure and composition of an automatic transport and storage system to create a joint layout of this system with a machine are formed.

Keywords: robotic complex; flexible manufacturing systems; machining of body parts; automatic transport and storage system; traffic flows.

Вопрос автоматизации производства на сегодняшний день является одним из важнейших в области машиностроения.

Автоматизация производства является не просто копированием существующих технологий и производственных систем с заменой труда людей работой машин, а создание интегрированных производственных систем, которые обеспечивают [1, 2]:

- рост производительности и улучшение условий труда;
- снижение эксплуатационных расходов;
- уменьшение себестоимости и повышение качества продукции;
- снижение риска связанного с человеческим фактором;
- уменьшение зависимости от рынка рабочей силы.

Основным вопросом исследования является создание условий для использования современных принципов производства в механических цехах, что должно привести к сокращению длительности циклов, повышению производительности коэффициентов использования при поддержании низкого уровня материально-производственных запасов [3-13].

Анализ номенклатуры обрабатываемых деталей позволит выявить типовые детали, позволяющие определить степень и направления специализации технологического оборудования станочной системы.

Применение FMS комплекса приведет к экономии занимаемых производственных площадей за счет хранения материалов, креплений и паллет в данном хранилище. Решение данных задач приведет к экономической выгоде на производстве [2].

Автоматизация цикла обработки заключается в управлении последовательностью и характером движений рабочего инструмента в целях получения заданной формы, размеров и качества поверхности на обрабатываемой заготовке (рис. 1) [6].

Целью автоматизированного производства является:

- повышение производительности;
- повышение качества;
- улучшений условий труда.

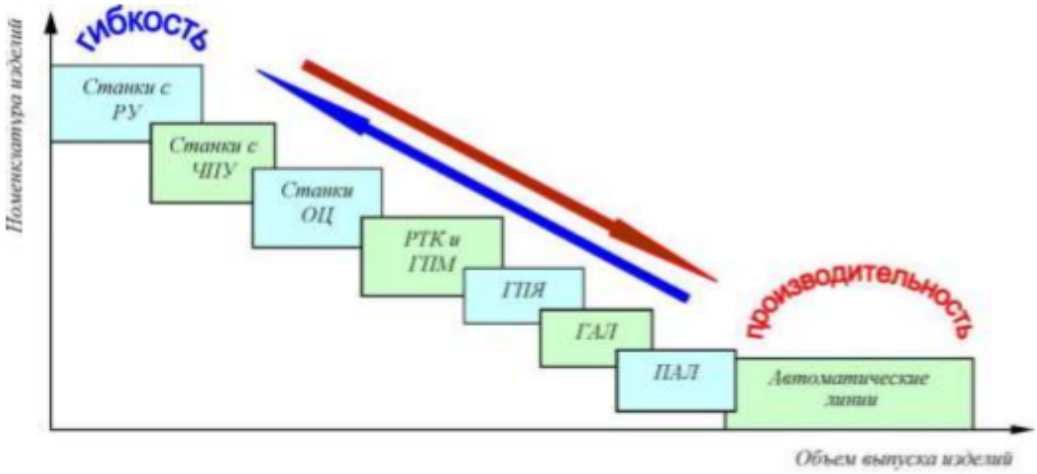


Рисунок 1 - Зависимость объема выпуска изделий при различных степенях автоматизации производства

Анализ номенклатуры обрабатываемых деталей позволяет выявить типовые детали, позволяющие определить степень и направления специализации технологического оборудования станочной системы ГПС, установить необходимое число управляемых координат станков, определить время обработки деталей на станках системы и состав станочной системы [14, 15].

На основе осуществленного анализа номенклатура обрабатываемых деталей разделяется по группам, из которых выбираются типовые детали. Типовые детали включают в себя все встречающиеся (в пределах рассматриваемой группы) виды обрабатываемых поверхностей и их сочетание, характеризуют необходимую точность обработки и требования к качеству обработки [13].

Одним из имеющихся решений является схема общей компоновки ГПС механической обработки корпусных деталей (рис. 2) [1].

Центральный магазин инструментов прямолинейного типа расположен над комплексом станков и состоит из двух линий ИЦ-1 и ИЦ-2 инструментальных гнезд. Две кассеты К1 и К2, вместимостью по шесть гнезд каждая, подают инструмент в центральный магазин и удаляют из него ненужный инструмент.

Подачу инструмента на станки и вывод из него ненужного или изношенного производит один робот-автооператор РО-1, находящийся между станками и второй линией ИЦ-2 центрального магазина инструментов.

Обмен инструмента между двумя линиями ИЦ-1 и ИЦ-2 центрального магазина инструментов осуществляет второй робот-автооператор РО-2.

Разгрузку и загрузку кассет, а также установку инструмента в гнездо с кодовым устройством Д производит третий робот-автооператор РО-3.

Роботы-автооператоры РО-2 и РО-3 связываются между собой во избежание столкновения через передаточную зону ЗП. При выходе из строя одного из роботов другой принимает на себя обе функции по вводу-выводу инструмента в комплекс и их обмену между линиями накопителя [8].

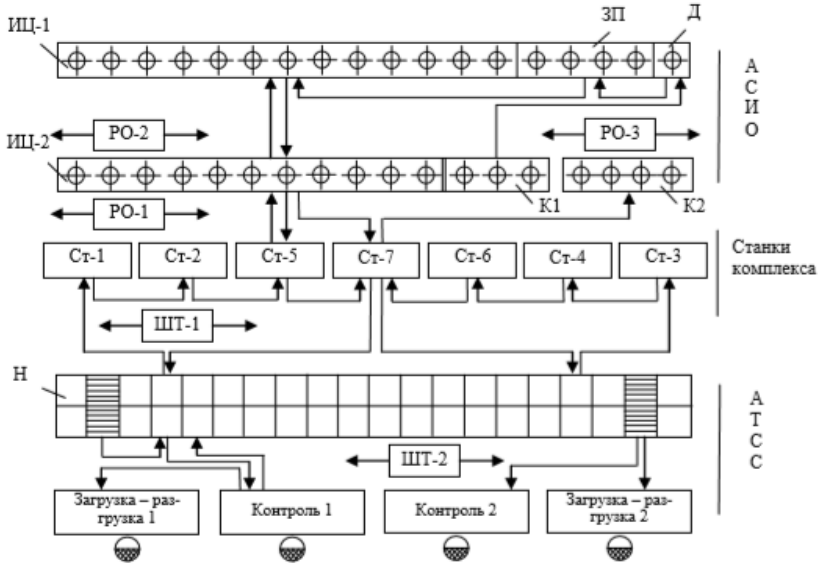


Рисунок 2 - Схема общей компоновки ГПС механической обработки корпусных деталей [1]

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Козырев Ю.Г.* Гибкие производственные системы. Справочник: справочное издание / Ю.Г. Козырев. — М.: КНОРУС, 2015. — 368 с.
2. *Пронин А.И.* Технологические основы гибких автоматизированных прозиводств: учеб. пособие / А.И. Пронин – Комсомольский-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2015. – 135 с.
3. *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.
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.
5. *Родина А.А.* Расчет и проектирование ГПС: учеб. пособие /А.А. Родина, А.Н. Колодин, Б.Н. Хватов. — Тамбов: ТГТУ, 2014. - 81 с.
6. *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.
7. *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.

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. *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.
12. *Maksarov V.* Machining quality when lathing blanks with ceramic cutting tools / V. Maksarov, A. Khalimonenko, D. Timofeev // Agronomy Research, 2014, V. 12 (1), P. 269-278.
13. *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.
14. *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.
15. *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.

УДК 622.232

ГАРАЩЕНКО Ж.М.,
ЦЫУЛЕВА К.Г.
Санкт-Петербургский горный университет

ОСОБЕННОСТИ КОМПОНОВКИ ВЫЕМОЧНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ОТРАБОТКИ ЦЕЛИКОВ ПО ВОССТАНИЮ

Аннотация. В статье рассматривается компоновка выемочных модулей для отработки целиков по восстанию короткими забоями в пластах средней мощности.

Ключевые слова: шахта; уголь; добыча; выемочный модуль; механизированная крепь; секция.

GARASHCHENKO ZH.M.,
TSYULEVA K.G.
Saint-Petersburg mining University

FEATURES OF THE LAYOUT OF THE CROSS MODULE FOR PILLAR RECOVERY FOR THE UPWARDS

Abstract. The article deals with the layout of the cross modules for pillar recovery for upwards short faces in layers of medium capacity.

Keywords: mine; coal; mining; cross module; mechanized support; section.

В настоящее время эффективная добыча угля подземным способом ведется отработкой угольных пластов длинными очистными забоями комбайновыми или струговыми очистными механизированными комплексами [1-3]. При этом уголь отделяется от массива сплошной обработкой резцами исполнительных органов по всей площади забоя. При отработке угольных пластов с прослоями породы добывается уже породная масса, что повышает зольность, затраты на добычу, транспортирование и обогащение. Большая часть запасов сосредоточена в пластах с прослоями породы, а также находящихся в зонах геологических нарушений, по границам шахтных полей, в целиках, в пластах сложного строения, не пригодны для отработки с использованием современных интенсивных технологий, которые остаются невостребованными и обычно теряются безвозвратно. Поэтому развитие технологий и технических средств отработки низко технологичных угольных пластов с породными прослоями и повышение полноты извлечения запасов являются актуальными для всех стран с развитой горнодобывающей промышленностью. В качестве такой технологии в работе рассматривается избирательная обработка забоя с селективной выемкой угля, а в качестве технического средства - унифицированные выемочные модули (УВМ), объединяемые в выемочные комплексы для проведения камер при отработке целиков и отработки пластов короткими или длинными забоями.

По мнению специалистов [4-9] современные очистные механизированные комплексы (ОМК) должны быть адаптивными, а по структуре - модульными и мобильными.

В общем случае унифицированный выемочный модуль (рис.1) состоит из следующих элементов [10-12]: опорной базы в виде секции механизированной крепи (СМК) − 2, поворотной турели − 1, установленной на перекрытии СМК, манипулятора − 3, телескопической стрелы − 4, поворотного устройства − 5, быстро съемного

исполнительного органа − 6 статико-динамического действия, направляющей балки − 7. УВМ оснащен индивидуальным гидравлическим приводом, подключенным к магистральным силовым гидросистемам, системам управления и контроля. УВМ обрабатывают забой участками одновременно по всему фронту забоя в согласованном режиме работы или индивидуальными режимами каждого модуля в отдельности.

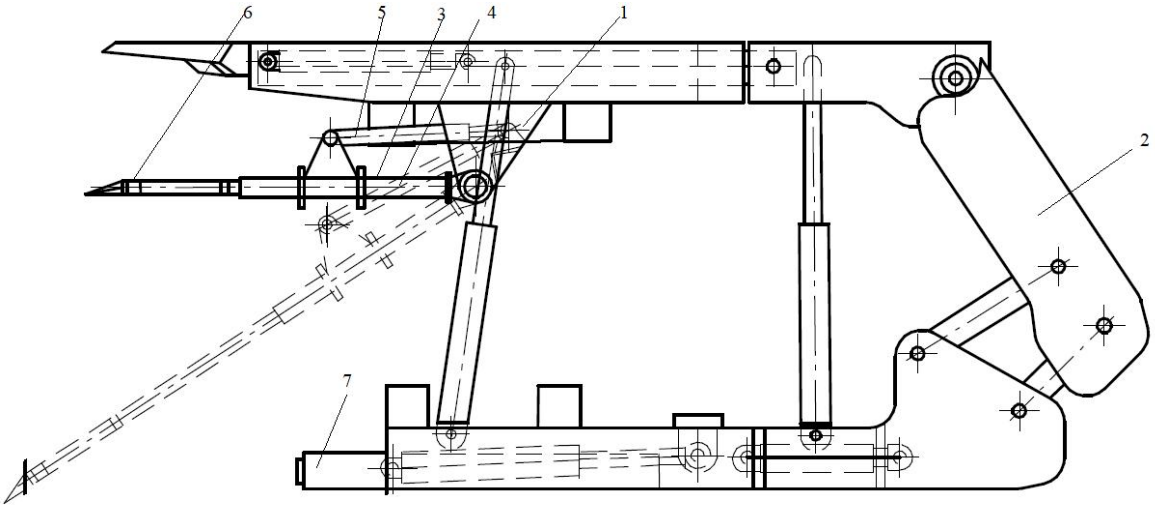


Рисунок 1 - Выемочный модуль на базе телескопической секции крепи с пошаговой передвижкой

Технология работы УВМ циклическая. Длительность цикла операций по выемке для УВМ рассчитывается по формуле:

$$T_ц = t_в + t_ш,$$

где $t_в$ − время выемки угля; $t_ш$ − время шагания (передвижки) модуля. Время выемки включает следующие операции $t_в = t_{пз} + t_{ск} + t_{ох}$. Здесь $t_{пз}$ – время позиционирования исполнительного органа по высоте и ширине забоя; $t_{ск}$ – время скалывания угля или породы; $t_{ох}$ – время обратного хода.

Создание автономных выемочных модулей позволит комплектовать выемочные средства для различных условий применения, которые способны работать без постоянного присутствия людей в забое.

Основными достоинствами УВМ являются:

− возможность многовариантности схем обработки забоя;

– разрушение массива с минимальной энергоемкостью, заданной крупностью и селективной выемкой угля и породы;

– блочность конструкции, многовариантность компоновок комплексов.

В составе фронтальных модульных комплексов в длинных забоях УВМ премещаются к забою, как правило, с опорой на направляющую балку, шарнирно закрепленную к забойному конвейеру или с опорой на соседние секции крепи. При отработке узких целиков по восстанию фронтально располагаемые забойные конвейеры не применяются, а опора на базовые секции УВМ снижает их устойчивость положения, производительность и универсальность.

При отработке узких целиков или при добыче угля в камерах при углах наклона более 9-13° по восстанию необходимы специальные направляющие и опорные балки с распорными устройствами удерживающими УВМ от сползания вместе с распорными балками и задающими направление подвигания забоя.

Известны устройства и способы удержания проходческих машин при работе по восстанию на пластах с углами более 9° [13, 14]. Так в патенте [14] предлагается способ

удержания проходческой машины в заданном положении. Способ включает операции внедрения в почву выработки элементов горной машины. Суть изобретения заключается в следующем: бурят с промывкой закрепленным на машине буровым инструментом (БИ) шпуры в почву выработки и на время нагружения машины внешней нагрузкой оставляют в шпуре БИ. Для машин шагающего типа бурят шпуры с каждой перемещаемой части машины, оставляя БИ в тех шпурах, которые находятся в данный момент под неперемещаемой частью машины, и извлекают из шпуров те БИ, которые находятся под перемещаемой частью.

Но все известные схемные и конструктивные решения громоздки и сложны.

Рассмотрим требования к распорно-стопорному устройству УВМ:

1. При отработке забоя базовая СМК УВМ и направляющая и опорная балки должны быть расперты;

2. Передвижка балок должна осуществляться одновременно с установкой исполнительного органа УВМ в исходное положение при передвижке;

3. При передвижке базовой СМК УВМ направляющая и опорная балки должны быть неподвижны, расперты в почву и кровлю с установкой стопорных анкеров;

4. Перед передвижкой балок базовые СМК УВМ должны быть расперты в боковые породы, анкеры балок установлены в транспортное положение и блокировка контроля их положения снята.

Вывод:

1. Применение удерживающих устройств расширяет область эксплуатации УВМ при отработке наклонных платов короткими забоями по восстанию с углами залегания больше 9-13°, что повысит коэффициент извлечения запасов угольных месторождений за счет выемки углей из низко технологичных пластов, по границам шахтных полей, в зонах горно-геологических нарушений, в целиках, относимых в настоящее время по разным причинам к забалансовым запасам.

2. Балку следует крепит к почве анкером, что обеспечивает повышение надежности процесса временного анкерования направляющей балки при выемки угля.

3. Необходим поиск технических схем и конструктивных решений устройств удержания в зависимости от УВМ.

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 трудов научно-практической конференции. – СПб: СПГУ, 2017. − С. 84-89.

2. *Stebnev A.V.* Analysis of operation of powered longwall systems in mines of SUEK-Kuzbass / A.V. Stebnev et al. // Eurasian mining. - 2017. - № 2. - P. 28-32.

3. *Gabov V.V.* Energy-saving modular units for selective coal cutting / V.V. Gabov, D.A. Zadkov // Eurasian mining. - 2016. - № 1. T 6. - P. 37-40.

4. *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.

5. *Буевич В.В.* Адаптация секции механизированной крепи совершенствованием механической характеристики гидропривода ее гидростоек / В.В. Буевич, В.В. Габов, Н.В. Бабырь, Д.А. Задков, А.В. Стебнев // Горное оборудование и электромеханика. − 2016. - № 3 (121). - С. 28-34.

6. *Бабырь Н.В.* Повышение адаптивности секции механизированной крепи к медленно изменяемому горному давлению / Н.В. Бабырь, Д.А. Задков // Чтения памяти

В.Р. Кубачека. Труды XIV международной научно-технической конференции. - Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2016. − С. 18-21.
7. *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.
8. *Буялич Г.Д.* Оценка характера взаимодействия крепи с труднообрушаемой кровлей // Совершенствование технологических процессов при разработке месторождений полезных ископаемых: сб. науч. тр. – Кемерово: Ассоциация «Кузбассуглетехнология», 1995. – № 9. – С. 35–37.
9. *Буялич Г.Д.* Повышение сопротивления консолей механизированной крепи / Г. Д. Буялич, Б. А. Александров, Ю. А. Антонов, В. В. Воеводин // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2000. – № 5. – С. 82–87.
10. *Габов В.В.* Обоснование структуры и параметров модуля для добычи угля / В.В. Габов, А.С. Елихин, Д.А. Задков, Н.С. Голиков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2019. - № S15. - С. 3-12.
11. *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. – № 1.
12. *Габов В.В.* Выбор структуры и параметров выемочных модулей фронтальных комплексов / В.В. Габов, А.П. Докукин, Д.А. Задков // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2002.
13. *Хаит Е.И., Васильченко В.К., Швиченко А.В., Гарькавый В. А., Нестеренко В.Г., Трубчанин В.И.* Проходческий комбайн // Авторское свидетельство СССР № 1432230. 1988.
14. *Медведков В.И., Михеев О.В.* Способ удержания проходческой машины в заданном положении // Патент Российской Федерации №2276728. 2006.

УДК 62-762

ГАРБУЗОВА Ю.С.
Санкт-Петербургский горный университет

СПОСОБ УВЕЛИЧЕНИЯ РЕСУРСА РАБОТЫ УПЛОТНЕНИЙ ПЛУНЖЕРНЫХ НАСОСОВ ПОДБОРОМ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. Применение плунжерных дозировочных насосов охватывает практически все области промышленности, каждая из которых предъявляет комплекс определенных требований к системам дозирования. Потенциал плунжерных дозировочных насосов не исчерпан и продолжает совершенствоваться в настоящее время. В работе предлагается способ увеличения ресурса работы уплотнений плунжерных насосов методом подбора материала.

Ключевые слова: плунжерный дозировочный насос, уплотнения, материалы уплотнений.

GARBUZOVA YU.S.
Saint-Petersburg Mining University

METHOD TO INCREASE SERVICE LIFE OF PLUNGER PUMPS SEALS BY SELECTION OF MATERIALS

Abstract. The use of plunger metering pumps covers almost all areas of industry, each of which imposes a set of certain requirements on dispensing systems. The capacity of plunger metering pumps is inexhaustible and continues to improve today. The work proposes a method of increasing the service life of plunger pump seals by the method of material selection.

Keywords: plunger metering pump, seals, seal materials.

Плунжерные насосы обладают следующими преимуществами: ритмичной работой механизмов, благодаря чему достигается постоянный объем дозирования; высокой надежностью; возможностью долгосрочной эксплуатации; высокой ремонтопригодностью; возможностью работы с разными средами.

Несмотря на свои преимущества, плунжерные насосы имеют основной недостаток - сложность обеспечения герметичного уплотнения плунжера при его возвратно-поступательном движении, вследствие чего происходит внешняя утечка дозируемой жидкости через уплотнение плунжера. В связи с этим при создании систем дозирования организовывают сбор этих утечек [1].

Выбор материала уплотнения проводят исходя из стойкости материала к дозируемой жидкости. Компания «Ареопаг» для трехплунжерного насоса, предназначенного для перекачивания нейтральных и агрессивных жидкостей, эмульсий, суспензий и других жидких сред с температурой от –50ºС до +60ºС, изготавливает уплотнения из резиновых смесей на основе этилен-пропиленового каучука (EPDM) и резиновых смесей на основе бутадиен-нитрильного каучука (NBR) [2-4].

В качестве альтернативного варианта для уплотнения плунжера предлагаем шевронные уплотнения из наполненного фторопласта Ф4К20, работающие по принципу автоматического уплотнения, в котором манжеты разжимаются давлением рабочей жидкости, чем исключается утечка [5-7].

По сравнению с резиновыми смесями (EPDM, NBR) манжетные уплотнения на основе Ф4К20 сохраняют работоспособность в более широком интервале температур, а именно, от -60 до +200 °С (температуры эксплуатации EPDM -50 до +150°С, NBR -30 до +100 °С) при сохранении низких и стабильных значений коэффициента трения (0,1-0,2) [8].

Рабочее давление манжет из коксонаполненного фторопласта Ф4К20 составляет 40 МПа [9]. Фторопластовые уплотнения обладают высокой устойчивостью к химическому воздействию, так как из-за прочности внутренних связей полимерной цепи фторопласта реакции с большинством химических веществ неосуществимы, за исключением расплавленных и растворенных щелочных металлов, газообразного фтора и трехфтористого хлора [8].

Благодаря инертности материала, фторопластовые манжеты используются при работе в химически агрессивных средах, смесях азотной и соляной кислот, щелочах [10]. Низкая адгезия исключает «залипание» уплотнения при длительной неподвижности.

Технологический процесс изготовления уплотнений состоит в таблетировании наполненного фторопласта уплотнением при 30-35 МПа до плотности ≥ 1,83 г/см^3, спекании при 350 ± 10 °С в течение 2-50 ч (в зависимости от размера заготовки) и медленном охлаждении с 380 до 250 °С, после чего при обработке заготовок на прецизионных станках получают окончательные уплотнительные изделия [11-13].

Данная работа выполнена под руководством доцента Сивенкова А.В.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Севастьянов А.В.* Технологии и оборудование для отбора попутного нефтяного газа из скважины и его утилизации / А.В.Севастьянов. – СПб.: Недра, 2017. – 176 с.
2. *Бурданов В.Н.* Непрерывное дозирование жидкости насосами возратно-поступательного действия. – СПб.: Геликон Плюс, 2012. – 224 с.
3. *Бурданов В.Н., Севастьянов А.В., Соминич В.Н.* Герметичный плунжерный насос // Патент на полезную модель №88076. 2009.
4. *Бурданов В.Н.* Насос дозировочный герметичный плунжерный / Насосы и оборудование. - 2011. - №4-5. – С. 49-51.
5. *Анурьев В.И.* Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т. Т.3. – 9-е изд., перераб. и доп. / под ред. И.Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2006. – 928 с.
6. *Майер В.Р.* Практическая высокоэффективная жидкостная хроматография: пер. с англ. - 5-е изд. (Мир химии; IV-26). - М.: Техносфера, 2017. - 394 с.
7. *Тимонин А.С.* Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования: Справочник. Т.3. – Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 2002. - 968 с.
8. *Авдейчик С.В.* Машиностроительные фторкомпозиты: структура, технология, применение: монография / С.В. Авдейчик [и др.]; под науч. ред. В.А. Струка. – Гродно: ГрГУ им. Янки Купалы. – 339 с.
9. *Свешников В.К.* Станочные гидроприводы: справочник. 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 2008. – 640 с.
10. *Мишук Ю.В.* Особенности структуры, состава и технологии композиционных материалов на основе политетрафторэтилена // Инновационные технологии в машиностроении. – Полоцк: Издательство «Полоцкий государственный университет». – 2013. - С.176-180.
11. *Михайлин Ю.А.* Фторопласты // ИБ ПМ. – 2004. - № 1 (56).
12. *Михайлин Ю.А.* Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы. – СПб.: Профессия, 2006. – 624 с.

13. *Мамаев О.А.* Повышение механических и триботехнических свойств композитов на основе ПТФЭ оптимизацией состава и технологии // Омский научный вестник. – 2011. - .№1 (97).

УДК 621.09

ГОЛИКОВ Т.С.
Санкт-Петербургский горный университет

ВЛИЯНИЕ НАРОСТООБРАЗОВАНИЯ НА КАЧЕСТВО ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Аннотация. В статье рассматриваются характеристики, которые оказывают наибольшее влияние на обрабатываемость алюминиевых материалов и сплавов. Установлены наиболее существенные параметры по скорости, силовым и температурным значениям, которые оказывают влияние на износ инструмента при обработке алюминиевых материалов. Выбран наиболее оптимальный диапазон скоростей резания для обработки алюминиевых материалов и сплавов. Установлены факторы, способствующие формированию нароста по передней поверхности режущего материала и неоднозначность изменения передних и задних углов в процессе обработки алюминиевых материалов и сплавов. Разработана модель феноменологического представления процесса формирования нароста и изменения углов резания при обработке изделия из алюминиевого материала и сплавов. Проведены экспериментальные исследования влияния скорости резания на величину шероховатости поверхности при обработке изделия из алюминиевого материала.

Ключевые слова: обрабатываемость алюминиевых материалов и сплавов; формирование нароста; изменения углов резания; неустойчивость процесса резания; шероховатость поверхности.

GOLICOV T.S.
Saint-Petersburg Mining University

SIMULATION OF FRICTION IN PROCESS EQUIPMENT GUIDES IN THE PRESENCE OF A BOUNDARY LAYER OF LUBRICANT

Abstract. The article discusses the characteristics that have the greatest impact on the workability of aluminum materials and alloys. The most significant parameters for speed, power and temperature values that affect tool wear during processing of aluminum materials are determined. The most optimal range of cutting speeds for processing aluminum materials and alloys has been selected. The factors contributing to the formation of a growth on the front surface of the cutting material and the ambiguity of changes in the front and rear corners during the processing of aluminum materials and alloys are established. A model of phenomenological representation of the process of formation of a growth and changes in cutting angles when processing products made of aluminum material and alloys is developed. Experimental studies of the effect of the cutting speed on the surface roughness when processing products made of aluminum material have been carried out.

Keywords: machinability of aluminum materials and alloys; formation of growth; changes in cutting angles; instability of the cutting process; surface roughness

В настоящее время о многих отраслях промышленности находит широкое применение изделия из алюминиевых сплавов. Алюминий и его сплавы относительно легко поддаются обработке резанием. Однако от вида сплава и от его физических и химических свойств существуют совершенно различные характеристики по обрабатываемости этого материала [1-3, 15, 16, 19].

Обрабатываемость включает в себя такие критерии обработки как: форма стружки, сила резания, износ режущего инструмента и качество поверхности после обработки [1-3, 9, 20].

Одним из важных критериев при механической обработке алюминия и его сплавов является форма стружки. При обработке алюминиевых сплавов в основном образуется сливная стружка, но она имеет различие по размеру и форме.

По сравнению со сталью алюминиевые сплавы обладают меньшей твердостью, более низким временным сопротивлением и лучшей теплопроводностью, что позволяет значительно повышать скорость резания и подачу. Поэтому процесс резания алюминиевых сплавов характеризуется высокими скоростями, сравнительно небольшими силовыми и температурными значениями и относительно малым износом режущего инструмента [4-6, 8-12].

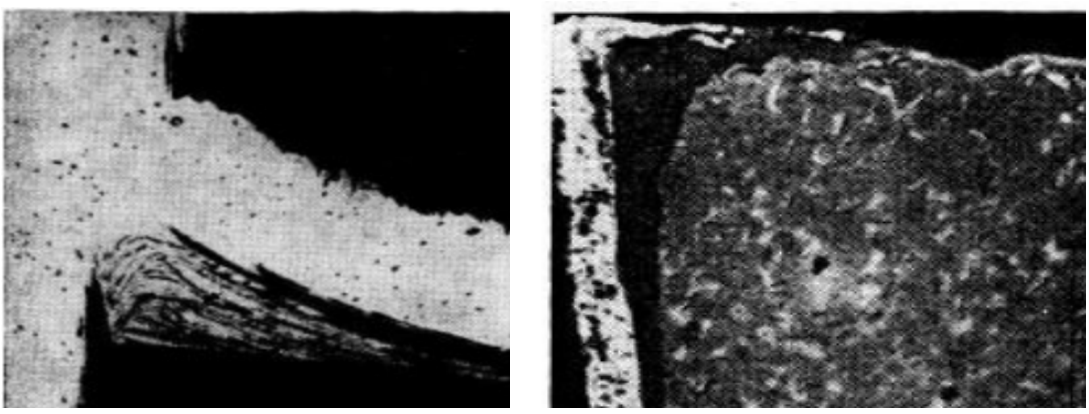
Рассматривая обрабатываемость алюминиевых материалов и сплавов по сравнению со сталью 45 необходимо отметить использование высоких скоростей резания при равной стойкости инструмента. Так, например, по многим литературным источникам [7, 13, 16] для обработки алюминиевых материалов и сплавов использую диапазон скоростей резания не ниже 90 м/мин.

Но при всех положительных характеристиках процесса обработки алюминиевых материалов и сплавов возникают и ряд негативных факторов, они связаны с высокой вязкостью материала, что способствует формированию наростообразования по передней поверхности режущего материала. Кроме этого в процессе механической обработки изделия возникают остаточные внутренние напряжения, что не позволяет достигнуть необходимого качества поверхности деталей и избежать образования на режущей кромке нароста. Затупление режущей кромки, приводит к перегреву и заклиниванию инструмента, и, как следствие, к его поломке. На степень и глубину наплавки материала, влияют режимы резания, геометрия режущего инструмента, степень его затупления, т.е. все факторы, определяющие протекание пластической деформации в зоне резания [17, 18].

Исследования, проведенные в работах [2, 6, 19] при обработке материалов с высокой вязкостью показали наличие нароста по передней поверхности (рис. 1, а) и формирование налипания по задней поверхности (рис.1, б). Нарост по передней поверхности приводит к изменению геометрии режущей кромки и изменяет координату вершины режущей кромки инструмента. Формирование нароста на режущей кромке при достижении определенного значения имеет тенденцию срываться, часть ее налипает на сходящую стружку, ухудшая ее равномерное скольжение по передней поверхности режущего инструмента, а другая часть приводит к многократно повторяющемуся налипанию алюминиевых частиц с последующим их срывом с режущей кромки. Эта часть алюминиевых частиц в разогретом виде смазывает обрабатываемую поверхность, приводит к формированию неровности на обработанной поверхности и соответственно является источником ухудшения шероховатости поверхности изделия.

Исходя из феноменологического представления данного процесса была предложена модель формирования наростообразования при обработке изделия из алюминиевого материала и изменение углов резания (см. рис. 2).

При обработке заготовки 1 с диаметром *D*с частотой вращения *n* режущим инструментом 2 образуется сходящая стружка 3, которая перемещается по наросту 4 и передней поверхности режущего инструмента со скоростью *Vстр*. С нароста 4 срываются алюминиевые частицы, которые обволакивают обработанную поверхность изделия 1 и изменяют его реальный профиль. Налипающий материал с режущим инструментом формирует точку 5, которая является координатой режущей кромки. При этом устанавливаются геометрические параметры инструмента - передний угол γ_1, задний угол α_1.



а) б)

Рисунок 1 – Нарост по передней поверхности инструмента (а) и налипание по задней поверхности (б) при обработке алюминиевого материала по данным [4]

В процессе наростообразования и формирования налипания по обработанной поверхности заготовки образуется слой *h*, который является непостоянным и подвержен многократному изменению положения координаты режущей кромки 6 на расстоянии от центра детали *O* на величину *H*. Если в координате режущей кромки 5 установленные геометрические параметры переднего угла γ_1 и заднего угла α_1 являются постоянными, то меняющаяся координата 6 в процессе обработки из-за накопления наростообразования и его срыва приводит к непостоянному значению геометрических параметров переднего угла γ_2и заднего угла α_2. При этом приращение по передней и задней поверхностям происходит совершенно неоднозначно, если по передней поверхности формирование переднего угла будет находиться в пределах $\gamma_2 \pm \delta$, то по задней поверхности задний угол будет находиться в диапазоне $\alpha_2 \pm \Delta$. Они постоянно варьируются, меняют геометрию режущего инструмента, а эта неоднозначность побуждает формирование переменной силы резания и соответственно формирует неустойчивый процесс резания.

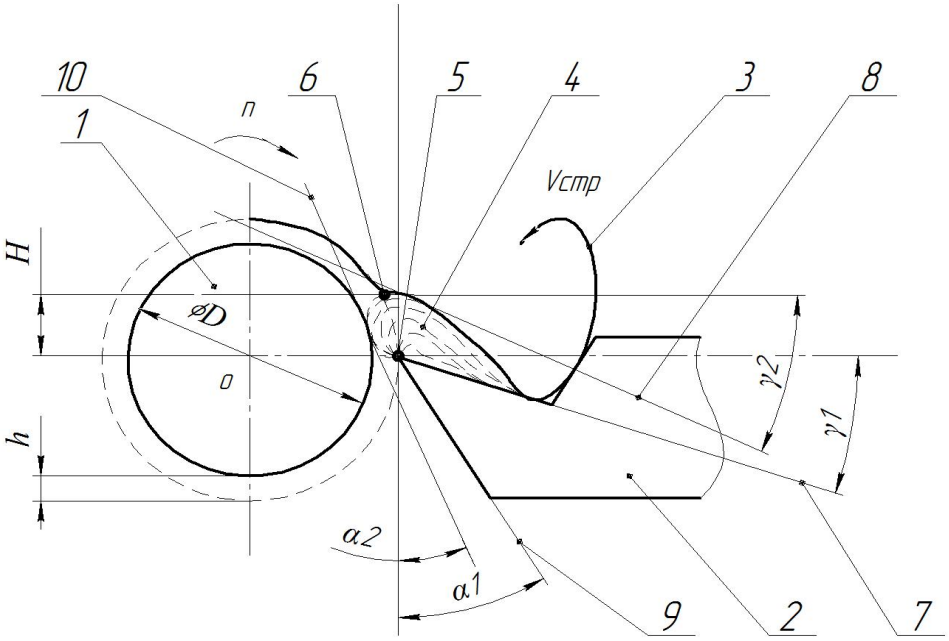


Рисунок 2 - Модель формирования наростообразования при обработке изделия из алюминиевого материала и изменение углов резания

В соответствии с исследованиями, проведенными в работах [2, 6, 16, 19]

установлено, что задний угол инструмента оказывает очень незначительное влияние на силовые характеристики, а вот с увеличением переднего угла уменьшается сила резания, а вместе с ней уменьшается амплитуда колебаний. Такая неоднозначность амплитудных значений приводит к циклическому формированию качества поверхностного слоя и шероховатости поверхности.

Проведенные исследования по влиянию скорости резания на величину шероховатости поверхности при обработке изделия из алюминиевых материалов при различных значениях передних углов (10° и 15°) показали, что на малых скоростях резания с передним углом равным 15° шероховатость ниже, чем при обработке с передним углом равным 10°. При высоких скоростях значения передних углов в диапазоне от 10° до 15° заметного различия на шероховатость поверхности не оказывает.

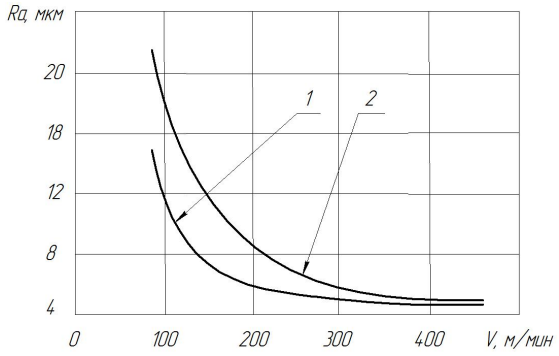


Рисунок 3 – Влияние скорости резания на величину шероховатости поверхности при обработке изделия из алюминиевого материала:
1 – с передним углом 15°; 2 – с передним углом 10°

Выводы по работе. Установлено, что наиболее существенное влияние, способствующее формированию нароста по передней поверхности режущего материала в процессе обработки алюминиевых материалов и сплавов, являются физико-механические свойства обрабатываемого материала и режимы скорости резания.

Формирование нароста на режущей кромке при достижении определенного значения имеет тенденцию срываться, часть ее налипает на сходящую стружку, ухудшая ее равномерное скольжение по передней поверхности режущего инструмента, а другая часть приводит к многократно повторяющемуся налипанию алюминиевых частиц с последующим их срывом с режущей кромки. Эта часть алюминиевых частиц в разогретом виде смазывает обрабатываемую поверхность, приводит к формированию неровности на обработанной поверхности и соответственно является источником ухудшения шероховатости поверхности изделия.

Неоднозначность варьирования геометрических параметров из-за нароста побуждает развитие к дестабилизации силы резания и неустойчивый процесс резания. Такая неоднозначность сил резания приводит к циклическому формированию качества поверхностного слоя, что в целом ухудшает шероховатость поверхности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Бармин Б.П.* Вибрации и режимы резания / Б.П.Бармин. - М.: Машиностроение, 1979. – 72 с.
2. *Вульф А.М.* Резание металлов. - Изд. 2-е. - Л.: Машиностроение, 1973. - 496 с.
3. *Жарков И.Г.* Вибрации при обработке лезвийным инструментом. - Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1986. - 127 с.

4. *Зорев Н.Н.* Вопросы механики процесса резания металлов. – М.: Машгиз, 1956. – 367 с.
5. *Кудинов В.А.* Динамика станков. - М.: Машиностроение, 1967. - 359 с.
6. *Лоладзе Т.Н.* Стружкообразование при резании металлов. - М.: Машгиз, 1952. – 198 с.
7. *Maksarov V.* Cutting process simulation on the basis of Rheological properties of metals / V. Maksarov, J. Olt / 26TH DAAAM International symposium on intelligent manufacturing and automation. - 2016. - № 1. – P. 229-237.
8. *Максаров В.В.* Моделирование процесса стружкообразования на основе реологических свойств металлов // Металлообработка. 2014. - №6(84). - С. 26–34.
9. *Максаров В.В*. Совершенствование технологии механической обработки титановых сплавов посредством применения предварительного пластического воздействия / В.В. Максаров, А.Е. Ефимов, А.Ю. Важенин // Металлообработка. – 2019. - №3(11). - С. 20-27.
10. *Maksarov V.* Pre-surface preparation features when applying wear resistant composite sprayed coatings / V. Maksarov, J. Olt, V.Krasnyy // Journal of Silicate Based and Composite Materials. - 2018. – 2(70). - P. 34-37.
11. *Maksarov V.* Internal thread cutting process improvement based on cutting tools treatment by composite powders in a magnetic field / V. Maksarov, A. Keksin, J. Olt // Journal of Silicate Based and Composite Materials. - 2018. – 4(70). - P. 128-131.
12. *Maksarov V.* Quality assurance during milling of precision elements of machines components with ceramic cutting tools / V. Maksarov, A. Khalimonenko // International Review of Mechanical Engineering. - 2018. – 12(5). - P. 437-441.
13. *Maksarov V.* Studying parameters and quality of thread by optical light field recorder / V. Maksarov, V. Makhov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2018. - № 194.
14. *Maksarov V.* Modeling dynamic processes at stage of formation of parts previously subjected to high-energy laser effects / V. Maksarov, A. Efimov, D. Timofeev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2018. – 327(2). - P. 22-25.
15. *Максаров В.В.* Моделирование динамических процессов механической обработки в среде NILabVIEW для совершенствования технологии изготовления деталей горных машин / В.В. Максаров, Д.А. Осминко, А.Е. Ефимов // Металлообработка. - 2018. - №1. – С. 21-28.
16. *Maksarov V.V.* Provision of adhesion strength of gasthermal coatings on piston rings of quarry transport engines / V.V. Maksarov, V.A. Krasnyy, J. Olt // Journal of mining institute. - 2018. - 229. – P. 77-83.
17. *Krasnyy V.* Simulation of dynamic processes when machining transition surfaces of stepped shafts / V. Krasnyy, V. Maksarov, J. Olt // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2018. - 327(2)..
18. *Olt J.* Improving quality of critical tractor parts through dynamic stabilization of manufacturing process on CNC machines / J. Olt, A. Efimov., V. Maksarov // Agronomy Research. - 2019. – 17(1). – P. 1146-1154.
19. *Olt J.* Impacts of gradient structure on the dynamic Characteristics of machining process system / J. Olt, V. Maksarov, A. Efimov // 29th DAAAM International symposium on intelligent manufacturing and automation. - 2018. - P. 0190-0196.
20. *Эльясберг М.Е.* Автоколебания металлорежущих станков / М.Е. Эльясберг // Теория и практика. – СПб.: Изд. ОКБС, 1993. – 180 с.

УДК 622.23.05 / 621.868.258.22

ГОЛОВИН М.А.
Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого

ДИНАМИЧЕСКАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ ПОДВИЖНОЙ ПЛАТФОРМЫ

Аннотация. Повышение мобильности связано с разработкой принципиально новых транспортных средств, максимально расширяющих их функционал и возможности. Цель исследования заключалась в разработке макета модуля стабилизации мехатронной платформы. В результате проведенной работы предложена кинематическая схема и спроектирован модуль стабилизации с системой уравновешивания на базе пружинного аккумулятора с синусной моментной характеристикой. Детали макета модуля спроектированы с учетом анализа методом конечных элементов и изготовлены по аддитивному технологическому процессу экструзии материала. Разработана структурно-функциональная схема для случая использования четырех модулей стабилизации.

Ключевые слова: платформа; стабилизация; рекуперация энергии; изменение высоты; адаптивность.

GOLOVIN M.A.
Peter the Great St. Petersburg
Polytechnic University

DYNAMIC STABILIZATION OF MOBILE PLATFORM

Abstract. Increasing mobility is associated with the development of fundamentally new vehicles that maximize their functionality and capabilities. The purpose of the study was to develop a model of the stabilization module of the mechatronic platform. As a result of the work, a kinematic scheme was proposed and a stabilization module with a balancing system based on a spring battery with a sinus moment characteristic was designed. Details of the module layout are designed taking into account the analysis by the finite element method and are manufactured according to the additive technological process of extrusion of the material. A structural-functional diagram has been developed for the case of using four stabilization modules.

Keywords: platform; stabilization; energy recovery; height change; adaptability.

Платформы стабилизации нашли широкое применение в технических средствах реабилитации, а именно в кресло-колясках [1-5]. Они применяются для обеспечения постоянного положения сиденья с оператором в процессе движения и в статическом положении, что является необходимостью для ряда заболеваний. Применение подобных систем связано с решением таких вопросов, как повышение энергоэффективности и уменьшением габаритов системы. Преимущества подобных систем, а именно: универсальность, разнообразие условий применения, могут найти применение и в горном машиностроении. Это связано с жесткими пространственными ограничениями условий работы, особенностью типовых операций перемещения.

Организация компактных систем, как правило, производится с соблюдением принципов проектирования мехатронных систем. Подобные системы находят свое применение и в строительной технике [6], промышленном машиностроении [7], что особенно востребовано в условиях современной цифровой трансформации производств

[8].

Целью исследования является разработка схемы стабилизационной платформы для мехатронной платформы. Задачи исследования включают проектирование элементов модуля стабилизации и их последующее изготовление по технологии аддитивного производства.

Актуальность исследования для разработки мехатронной системы заключается в создании уникальной системы шасси. В настоящее время отсутствуют конструкции роботов, роботизированных комплексов и, в частности, подвижных платформ, в том числе серийных, способных к стабилизации в условиях сложного рельефа и ограничения по высоте. Разработка шасси для движения в ограниченных условиях значительно расширит возможности производства. В то же время использование принципа модульной конструкции, то есть использования одних и тех же модулей для обеспечения необходимого (например, поступательного) движения, а также повышения их энергоэффективности, улучшит технологичность изготовления и эксплуатационные характеристики.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Предлагается использовать систему стабилизации на основе четырех модулей. Каждый из модулей обеспечивает вертикальное движение. В ходе исследования были предложены два варианта модуля стабилизации с балансировочной системой на основе нелинейной пружинной батареи с синусоидальной характеристикой [9-15] (рис. 1).

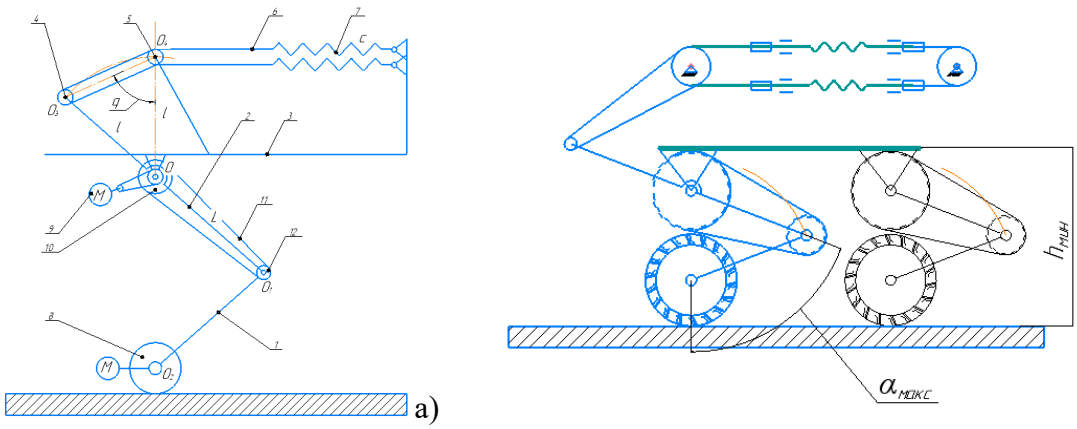


Рисунок 1 - Модуль стабилизации с системой стабилизации платформы на основе такого модуля:
а) верхнее положение, б) нижнее положение

Для выбранной конструкции с цилиндрическими пружинами растяжения были построены электронные геометрические модели деталей, включая шкивы и ремень, с учетом использования унифицированных метрических крепежных элементов, а также анализа прочности методом конечных элементов для случая изготовления деталей с использованием аддитивного технологического процесса экструзии материала. Были получены оптимальные габариты подвижных частей. В результате в САПР Компас 3D, АСКОН, был разработан модуль стабилизации. Построенная модель была затем импортирована в программное обеспечение MATLAB для построения математической модели движения узлов модели.

Кроме того, на 3D-принтере были изготовлены детали ременной передачи, включая ремень. После этого был построен макет с четырьмя разработанными модулями стабилизации (рис. 2).

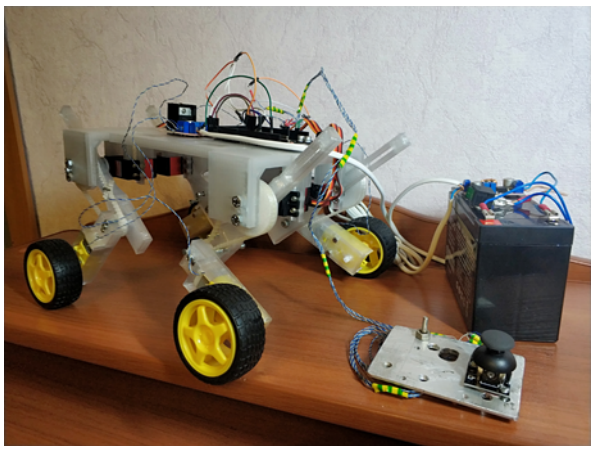


Рисунок 2 - Схема стабилизационной платформы

На рис. 3 показана структурная и функциональная схема платформы. В качестве источника энергии используются гелевая батарея 12 В и два преобразователя постоянного тока: 5 В и 6 В. Сервоприводы SG-6221 используются в качестве поступательных вертикальных приводов смещения. Для перемещения платформы используются двигатели постоянного тока, которые попарно подключены к драйверу L298D. В связи с этим правую и левую стороны можно контролировать отдельно. В этом случае оператор регулирует не только направление вращения мотор-колес, но и изменяет скорость их вращения. Кроме того, при противоположном движении приводов левой и правой сторон становится возможным поворот на месте.

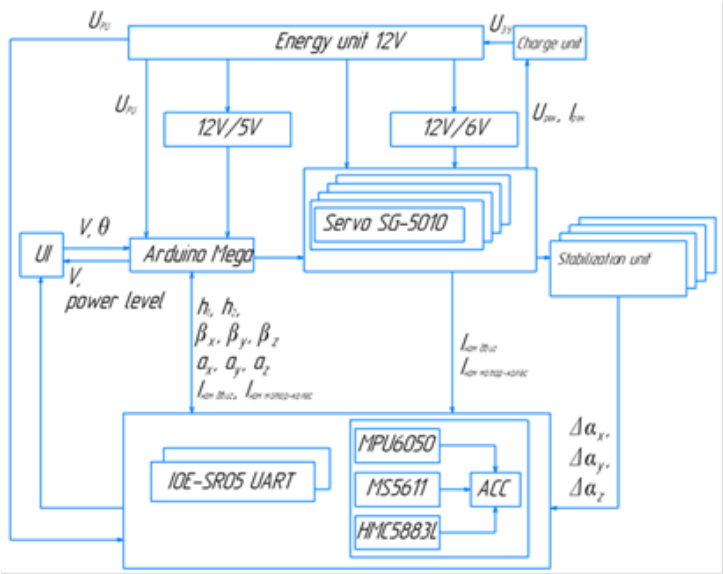


Рисунок 3 - Структурно-функциональная схема компоновки стабилизационной платформы

В качестве контроллера управления используются пятипозиционный джойстик и потенциометр. Джойстик управляет направлением и скоростью движения, а также направлением и скоростью вращения. Потенциометр позволяет оператору вручную регулировать высоту стабилизирующей платформы.

На платформе установлены следующие датчики: IMU и датчики высоты. IMU регистрирует изменение положения (отклонения) платформы от горизонта в трех плоскостях. Датчики высоты фиксируют высоту до поверхности движения, после чего микроконтроллер может определять наличие уклона поверхности до момента входа.

Плата, используемая с микроконтроллером семейства ATMega, имеет необходимые компоненты для подключения всех драйверов, приводов, датчиков, блоков питания. На нем обрабатываются значения от IMU, благодаря чему углы отклонения в трех плоскостях непрерывно регистрируются с минимальной ошибкой. С использованием приводов от мотор-колес возможно реализовать рекуперацию электрической энергии.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученный макет имеет следующие свойства. Реализована независимая подвеска каждого колеса. Оператор получает возможность двигаться вперед, назад, поворачивать и поворачиваться на месте. Синергетический эффект модулей стабилизации используется для равномерного перемещения платформы вверх и вниз.

Скорость изменения высоты, то есть скорость вертикального перемещения стабилизируемой поверхности, зависит от максимальной угловой скорости используемого сервопривода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работы предложена кинематическая схема и разработан модуль стабилизации с уравновешивающей системой на основе цилиндрической пружины растяжения. Детали макета модуля разработаны и изготовлены в процессе аддитивного производства экструзии материала. Разработана версия стабилизационной платформы с четырьмя модулями. Предложена структурно-функциональная схема проектируемой системы. Представляет научный интерес изучение проектируемой платформы и предлагаемых конструкций модулей стабилизации.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90262.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *RAJ A.* Automated Wheelchair for Increased Mobility Against Architectural Barriers / A. RAJ et al. // International Journal Of Electrical, Electronics And Data Communication. – 2017. - Vol. 5(5).
2. *Borisoff J.F.* The development of an ultralight wheelchair with dynamic seating / J.F. Borisoff, L.T. McPhail // 2010.
3. *Quaglia G.* Design of a self-leveling cam mechanism for a stair climbing wheelchair / G. Quaglia, M. Nisi // Mechanism and Machine Theory. – 2017. - Vol.112. – P. 84-104.
4. *Candiotti J.* Design and evaluation of a seat orientation controller during uneven terrain driving / J. Candiotti et al. // Medical Engineering and Physics. – 2016. - 38. – P. 241–247.
5. *Hinderer M.* An autonomous stair-climbing wheelchair / M. Hinderer, P. Friedrich, B. Wolf // Robotics and Autonomous Systems. - 2017. - 94. 10. 1016 / j.robot. 2017.04.015.
6. *Щербаков В.С.* Автоматизация проектирования устройств управления положением платформы строительной машины: монография / В.С. Щербаков, М.С. Корытов, М.Г. Григорьев. - Омск: СибАДИ, 2011. – 119 с.
7. *Mężyk A.* Mechatronic model of continuous miner cutting drum driveline / A. Mężyk et al. // Mechatronics. – 2016. - Vol. 37. - P. 12-20.
8. *Menezes Brenno C.* Identification and Design of Industry 4.0 Opportunities in Manufacturing: Examples from Mature Industries to Laboratory Level Systems / *Brenno C. Menezes, Jeffrey D. Kelly, Adriano G. Leal* // IFAC – Papers On Line. – 2019. - Vol. 52, Is. 13. - P. 2494-2500.

9. *Жавнер В.Л.* Мехатронные системы. Учебное пособие / В.Л. Жавнер, А.Б. Смирнов // Министерство образования и науки Российской федерации. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2011.
10. *Жавнер В.Л.* Рекуперативные приводы для цикловых перемещений / В.Л. Жавнер, О.Н. Мацко, М.В. Жавнер // Deutschland, Saarbrucken, Palmarium Academic Publishing. - 2014. - 90 p.
11. *Жавнер В.Л.* Пружинные приводы с уравновешиванием для горизонтальных возвратно-поступательных перемещений / В.Л. Жавнер, О.Н. Мацко // Вестник научно-технического развития. – 2016. - № 5. - С 12-17.
12. *Жавнер В.Л.* Мехатронные рекуперативные приводы для цикловых перемещений: Учеб. пособие / В.Л. Жавнер [и др.]. - В. Новгород: Изд-во Новгородского ун-та, 2013. – 97 с.
13. *Zhavner V.L.* Spring drives for reciprocal motion / V.L. Zhavner, O.N. Matsko // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. – 2016. - Vol. 45, No.1. - P.1-5.
14. *Тимофеев Г.А.* Анализ критериев самоторможения с точки зрения их обоснованности / Г.А. Тимофеев, М.В. Самойлова, В.В. Панюхин // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Машиностроение». - 2013. - №4 (93).
URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-kriteriev-samotormozheniya-s-tochki-zreniya-ih-obosnovannosti (дата обращения: 09.09.2019).
15. Стариков А.Н. Механизмы, основанные на взаимодействии тел по плоскости // Теория механизмов и машин. – 2019. - Т. 17. №1(41).

УДК669.017

ГОЛОХВАСТОВ Н.С.,
ШЕРСТНЕВА А.Б.
Санкт-Петербургский горный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ТВЕРДОСТИ СТАЛИ У8 ПОСЛЕ ЗАКАЛКИ ЧЕРЕЗ ВОДУ В МАСЛО

Аннотация. В данной статье рассмотрены особенности и основные достоинства закалки через воду в масло. Все выводы и заключения о свойствах обработанной таким образом стали основаны на описанных в статье экспериментах. Кроме того, в тексте статьи обозначены предпосылки для введения данного метода термообработки на производстве, сделан вывод о применимости этого вида закалки для отдельных сталей.

Ключевые слова: материаловедение; термообработка; закалка; закалка через воду в масло; инструментальные стали; термообработка инструментальных сталей.

GOLOHVASTOV N.S.,
SHERSTNEVA A.B.
Saint-Petersburg Mining University

RESEARCH OF THE HARDNESSOF STEEL U8 AFTER QUENCHING THROUGH WATER INTO OIL

Abstract. This article discusses the features and main advantages of quenching through water into oil. All conclusions and conclusions about the properties of steel thus treated are based on the experiments described in the article. In addition, the text of the article outlines the prerequisites for introducing this method of heat treatment in production, it is concluded that this type of hardening is applicable for individual steels.

Keywords: Materials Science; heat treatment; quenching; quenching through water into oil; tool steels; heat treatment of tool steels.

Закалка с последующим отпуском – это наиболее распространенный способ термической обработки сталей.

Существует два самых часто используемых вида охлаждающих сред при закалке: вода и масло – каждая со своими достоинствами и недостатками. Например, важным недостатком закалки в воду является высокий риск образования трещин. Закалка в масло лишена данных недостатков, однако она не всегда способна обеспечить необходимый уровень прокаливаемости самого изделия.

С целью обеспечения высокого уровня механических свойств, избегая при этом рисков образования трещин, разумно применять закалку через воду в масло.

Для сопоставления и сравнения результатов разных видов закалки, был проведен комплекс из 6экспериментов, который заключался в проведении соответствующего вида закалки и измерении твердости до и после низкого отпуска (2 часа при 200 ºС) на образцах стали У8. Результаты исследования приведены в табл. 1 (в таблице указаны средние значения твердости для каждого режима).

Таблица 1

Результаты исследования

	HRC (до ТО)	HRC (после закалки)	HRC (после отпуска)
Закалка в воду	10	64	62
Закалка через воду в масло	10	61	60
Закалка в масло	10	58	56

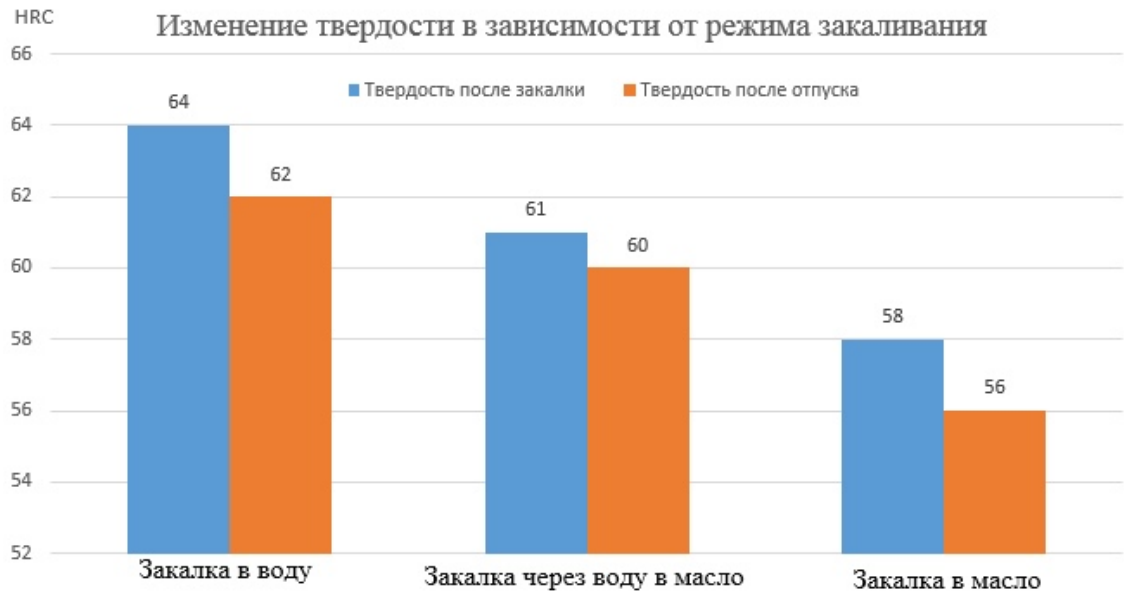


Рисунок 1 – Средние экспериментальные значения твердости

По результатам исследования (рис. 1) потери в твердости по предложенному способу по сравнению со стандартной закалкой составляют всего лишь в 1–2 единицы HRC, что незначительно, учитывая, что риск появления трещин сводится к минимуму. Применение для данного способа закалки можно найти в производстве изделий, получаемых из инструментальных сталей, так как они требуют высокого качества и высоких показателей механических свойств. Слишком быстрое охлаждение может привести к браку, а слишком медленное к ухудшению показателей твердости, поэтому закалка через воду в масло будет являться оптимальным режимом для их изготовления.

Данная работа выполнена под руководством доцента Шахназарова К.Ю.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Солнцев Ю.П.* Материаловедение: Учебник для вузов. Изд. 4-е, перерб. и доп. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2007. – 784 с.
2. *Жолдошов Б.М.* Исследование технологии обработки углеродистых и низколегированных сталей / Б.М. Жолдошов, Т.М. Бурканов // Известия вузов Кыргызстана. - Бишкек: Общественное объединение «Общественная академия ученых Кыргызской Республики», 2018. - С. 11-13.
3. *Иванов К.М.* Проектирование и изготовление заготовок деталей общего и специального машиностроения. Учебное пособие / К.М. Иванов, П.П. Серебреницкий. – Старый Оскол: Тонкие наукоемкие технологии, 2019. – 320 с.
4. *Носова Е.А.* Влияние отпуска на поверхностные структурные изменения в

штамповых сталях У8, Х12МФ, 30ХГСА / Е.А. Носова, А.А. Кузина, И.Д. Ибатуллин // Известия самарского научного центра Российской академии наук. - Самара: Федеральное государствеeное бюджетное учреждение науки «Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук», - 2015. - С. 375-383.
5. *Болобов В.И.* Материаловедение, наклеп, термическая и химико-термическая обработки. Легированные конструкционные и инструментальные стали: Учебное пособие / В.И. Болобов, С.Ю. Кувшинкин. - СПб.: Санкт-Петербургский горный университет, 2011. – 93 с.
6. *Космынин А.В.* Исследование инструментальных сталей при термической обработки / А.В. Космынин, С.Л. Чернобай, Н.С. Саблина, // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - Пенза: Академия Естествознания, 2014. - С. 102–103.
7. *Клецова О.А.* Разработка оптимальных режимов термической обработки микролегированных инструментальных сталей: дис. - Орск, 2014. – 158 с.
8. *Ромашков Е.М.* Разработка режимов термической обработки для упрочнения легированных сталей инструментального класса / Е.М. Ромашков, С.Е. Крылова, О.А. Ромашкова // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии. Сборник трудов конференции. - Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2017. - С. 652– 55.
9. *Скачкова А.А.* Влияние химико-термической обработки на свойство стали У8 / А.А. Скачкова, В.К. Афанасьев // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Сборник трудов конференции. - Новокузнецк: «Сибирский государственный индустриальный университет», 2012. - С. 137–140.
10. *Потапов В.М.* Повышение конструктивной прочности стали У8 высокотемпературной термомеханической изотермической обработкой // Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования. Сборник трудов конференции. - Новосибирск: Золотой колос, 2016. - С. 113–118.
11. *Швеёва Т.В.* Склонность сталей к образованию трещин при закалке в растворах полимера / Т.В. Швеёва, А.М. Песин, Д.О. Пустовойтов // Заготовительные производства в машиностроении. – М.: Инновационное машиностроение, 2019. - С. 278–283.

УДК 622.276.6

ГОЦУЛ Ю.Д.
Санкт-Петербургский горный университет

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СКВАЖИННОГО ЭЛЕКТРОПАРОГЕНЕРАТОРА В СОСТАВЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ДОБЫЧИ ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ

Аннотация. Статья содержит имитационную тепловую модель забойного электропарогенертора (ЭПГ), а также исследование возможности применения его на месторождениях с существующей технологией тепловой обработки пласта.
Рассмотрена энергоэффективная конструкция электропарогенератора для обработки пластов высоковязкой нефти. При помощи программного пакета Ansys выполнена имитационная модель ЭПГ и определены гидродинамические характеристики, а также температурное распределение по интервалам нагрева и парообразования.
Кроме того, статья содержит имитационное моделирование пласта с существующим притоком нефти для применения технологии ЭПГ, в качестве дополнительного источника теплоты в программной среде Femlab 3.5.

Ключевые слова: забойный электропарогенератор, месторождения высоковязкой нефти, имитационная модель, технология тепловой обработки пласта.

GOTSUL JU.D.
Saint-Petersburg Mining University

IMPROVING THE EFFICIENCY OF A DOWNHOLE ELECTRIC STEAM GENERATOR AS PART OF AN ELECTROMECHANICAL COMPLEX FOR HIGH-VISCOSITY OIL PRODUCTION

Abstract. This article contains a simulation thermal model of the downhole electric steam generator (ESG) and also the study of its application in the fields with the existing technology of heat treatment of the reservoir.
An energy-efficient design of the electric steam generator for impact of high-viscosity oil reservoirs is described. Using Ansys software package is created a simulation model of ESG and determined hydrodynamic characteristics, distribution of temperature for the intervals of heating and vaporization.
Besides, the work contains simulation modeling of the reservoir with the existing oil inflow for the application of ESG technology as an additional source of heating in the Femlab 3.5 software environment.

Keywords: downhole electric steam generator, high-viscosity oil reservoirs, simulation model, technology of heat treatment of the reservoir.

Устройство и работа скважинного электропарогенератора

Основным назначением забойных электротепловых генераторов является выработка пара с наибольшей степенью сухости для более эффективной тепловой обработки призабойной зоны скважины, снижения вязкости нефти, повышения охвата теплообработки пласта. Идеальным значением сухости для паротепловой обработки является 0,8-1 [1].

В состав электротехнического комплекса тепловой обработки призабойной зоны скважин входит скважинный электропарогенератор, который закреплен на конце

колонны насосно-компрессорных труб (рис. 1).

Электропарогенератор состоит из металлического корпуса, выполненного в форме цилиндра. Центральный токопровод закреплён в верхней части корпуса через проходной изолятор. Внутри корпуса парогенератора на токопровод в слое изоляции крепятся перфорированные диски-электроды, заключенные в термостойкие керамические стаканы с окнами для электрического контакта между фазными электродами и корпусом парогенератора.

Межэлектродное расстояние определяется мощностью устройства, питающим напряжением, поверхностной плотностью тока и удельным сопротивлением токопроводящей жидкости (воды).

Верхняя часть корпуса свободная от дисков-электродов, образует паровую зону электронагревателя, в этой части корпуса имеются выпускные отверстия для пара. Здесь также находится водоподающий узел, вода поступает по центральному отверстию внутри токовода.

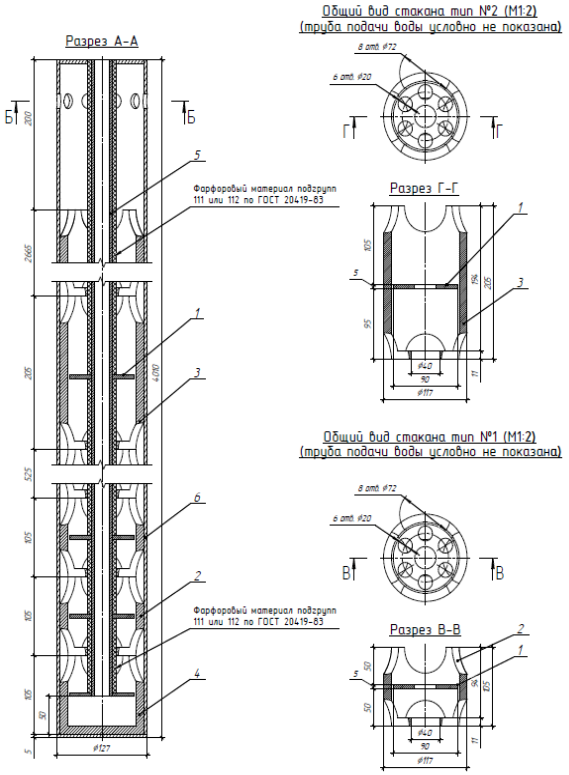


Рисунок 1 - Конструкция забойного электропарогенератора

После сборки устройства и постановки его в область продуктивного пласта обрабатываемая зона изолируется термостойким пакером [2]. Через регулятор тока по силовому питающему кабелю на диски-электроды, размещенные на тоководе, подают напряжение 3-6 кВ, частотой 50 Гц, после чего от дисковых перфорированных электродов через жидкость к корпусу нагревателя через отверстия в термостойких керамических стаканах потечет ток, вызывая нагрев жидкости, кипение и образование пара. Пар, обладающий высоким теплосодержанием, через выпускные отверстия поступает в пласт. При этом по мере расхода жидкости в полости корпуса нагревателя осуществляется ее подпитка котловой водой, транспортируемой из емкости через трубу, оснащенную насосом и регулируемым приводом, по колонне НКТ, узел сопряжения НКТ, диэлектрическую трубчатую вставку и центральный трубчатый токовод в нижнюю полость корпуса нагревателя [3].

Имитационное моделирование электропарогенератора

Для понимания тепловых процессов в парогенераторе и более точного определения необходимых параметров нагрева при заданном расходе перейдём к имитационному моделированию температурного поля с помощью задания теплового потока в программном пакете ANSYS.

Заданные параметры для моделирования представлены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные параметры для моделирования

Геометрические размеры парогенератора	В приложении 1 на сборочном чертеже
Подача питательного насоса	3,2 м^3/час
Мощность теплового потока на электродах промежутка нагрева*	1 вариант 500 кВт/м^2 2 вариант 2 000 кВт/м^2
Температура воды на входе в парогенератор	20 °С
Температура воды на выходе из токовода	30 °С
Коэффициент теплопроводности пластовой нефти**	0,47 Вт/м · К
Режим течения жидкости	турбулентный

* - принимаем равными электрической мощности парогенератора, ограничены только пропускной способностью линии, а именно 2 МВт;

**- принимаем без учёта теплопроводности керамики и металла, ими пренебрегаем.

Температурное поле на интервалах нагрева и парообразования при значении теплового потока – 2000 кВт/м^2 представлено на рис. 2.

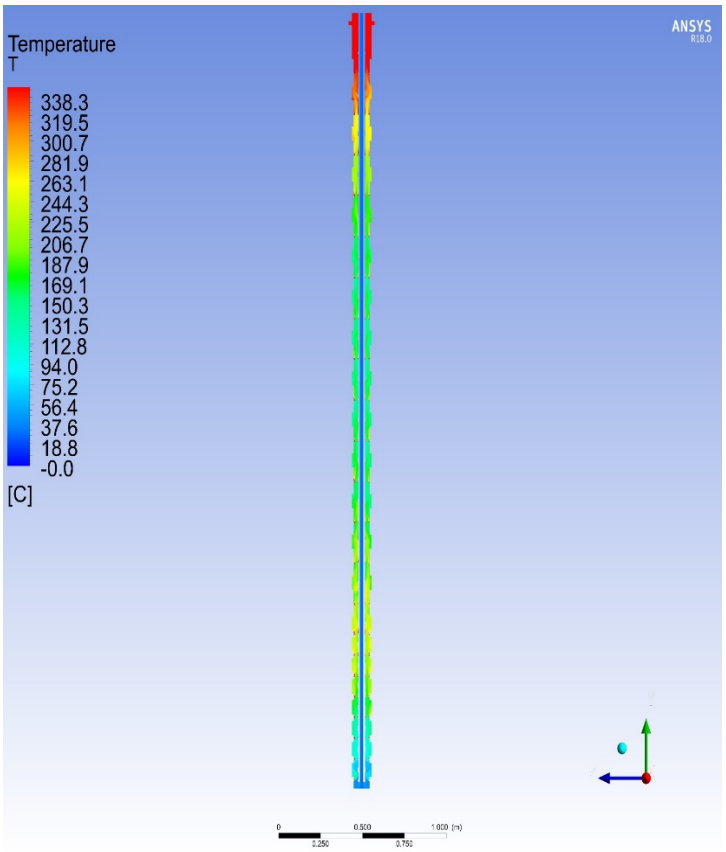


Рисунок 2 - Температурное поле при тепловом потоке равном 2000 кВт/м^2

2 МВт тепловой энергии достаточно для создания и поддержания необходимых параметров пара на интервале II (парообразования), что совпадает с расчётными данными при данной конструкции парогенератора и форме электродов.

Имитационное моделирование температурного поля пласта

Для описания имитационной тепловой модели используем уравнение нестационарной теплопроводности (уравнение Фурье) и конвективного теплообмена и уравнение фильтрации флюида.

Пласт слоисто-неоднородный, поэтому для модели будет предусмотрен ряд допущений.

В цилиндрической системе координат температурное поле можно представить в виде:

$$\lambda_П \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} - u \cdot \rho_C \cdot \lambda_C \frac{\partial T}{\partial r} = \rho_П \cdot c_П \cdot \frac{\partial T}{\partial t},$$

где: $\lambda_П$ - теплопроводоность пласта;

$\rho_П$ - плотность вмещающих пород пласта;

$c_П$ - теплоемкость вмещающих пород пласта;

u - скорость фильтрации флюида в пласте.

Решение уравнение получено с помощью моделирования в программном комплексе Femlab 3.5.

Нестационарный процесс передачи теплоты с помощью теплопроводности и конвекции с учётом фильтрации флюида:

Описание модели:

Предлагается ввести горизонтальную греющую скважину, в которую помещен забойный электропарогенератор, в имеющийся комплекс обработки призабойной зоны добывающей горизонтальной скважины паром с целью увеличения интенсификации добычи снижением вязкости нефти.

Результатом моделирования должно стать определение оптимального расстояния между скважинами и оценка эффективности внедрения дополнительного греющего источника.

Условия для моделирования:

1) Принят приток нефти: $v = \frac{Q}{2\pi hr\rho} = 2 \cdot 10^{-6}$м/с, к горизонтальной добывающей скважине после её ПЦО обработки в течение 5 циклов и до снижения дебита до среднего значения по состоянию разработки Усинского месторождения на 01.01.15 г., которое составляет: $Q = 7$ т/сут.

2) Греющая скважина принимается как источник теплоты с температурой влажного пара $-325°C$, пар полностью конденсируется на выходе из перфорационных отверстий скважины.

Результаты имитационного моделирования температурного поля пласта

1) Распределение температур в результате пароциклической обработки пласта в течение 30 суток представлено на рис. 3.

2) Зависимость температуры пласта от расстояния между скважинами представлена на рис. 4.

По результатам моделирования пласта определено оптимальное расстояние между скважинами, которое составляет до 10 м. На данное расстояние приходится половина депрессии пласта (давление, при котором происходит движение флюида из пласта в ствол скважины).

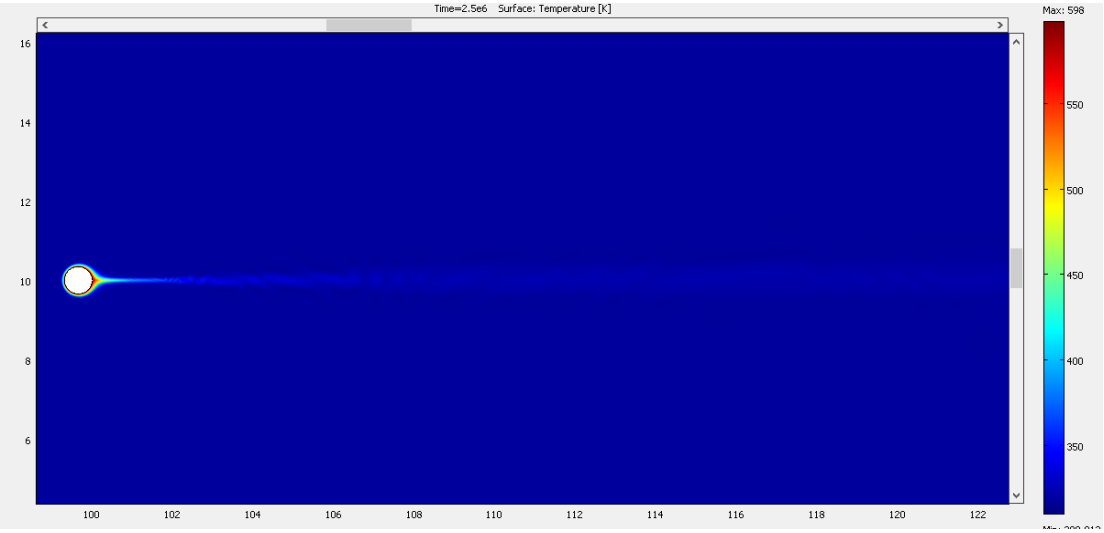


Рисунок 3 - Температурное поле пласта от греющей скважины

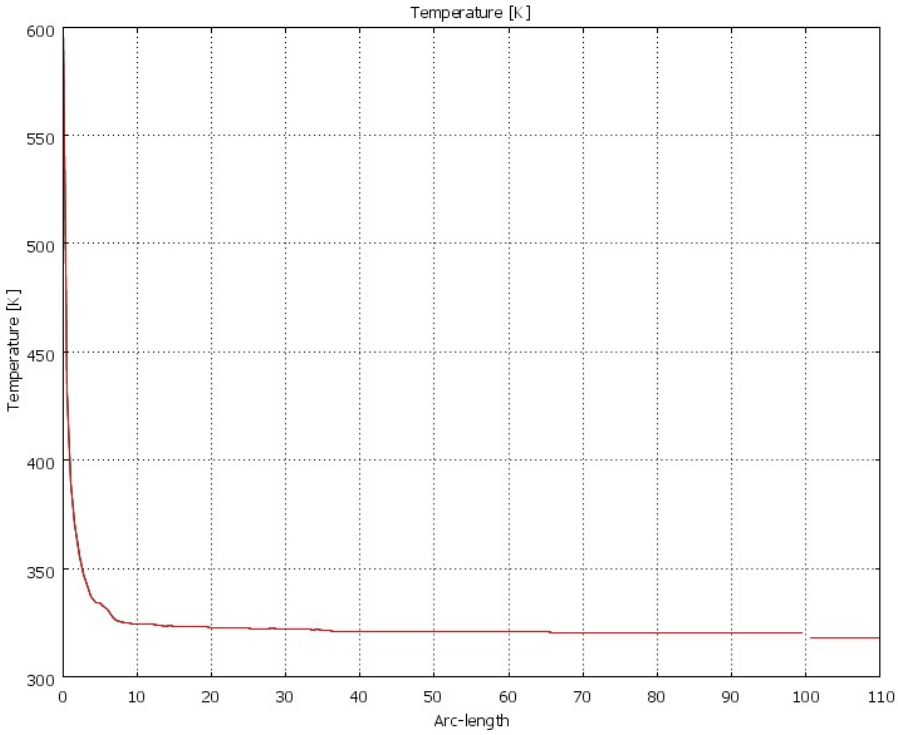


Рисунок 4 - Зависимость температуры пласта от расстояния

Предлагаемая конструкция позволяет увеличить нефтеотдачу пласта, а также обеспечивает дополнительный положительный эффект после тепловых обработок. Кратность увеличения дебита после прогрева согласно зависимости (рис.3) и изменению вязкости нефти составила:

$$K = \frac{q_{н}}{q_{баз}} = 1{,}694$$

.

Прирост добычи составил:

$$q_{н} - q_{баз} = 5{,}536\,\frac{м^3}{сут} = 5{,}165\,\frac{т}{сут} = 1885\ т/год$$

.

. Электропарогенератор мобильный, допускает работу с минимальной водоподготовкой, а также позволяет разрабатывать залежи, находящиеся в природоохранных труднодоступных зонах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Загривный Э.А.* Скважинный электродный парогенератор для термических методов нефтедобычи / Э.А. Загривный, С.Н. Батаев // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – СПб.: Макситех, 2005.
2. *Загривный Э.А.* Электротермический комплекс на основе скважинного электродного нагревателя мощностью более 500 кВт для теплового воздействия на продуктивный пласт высоковязкой нефти / Э.А. Загривный, А.Е. Козярук, С.Н. Батаев // Электротехника. - 2003. - №5.
3. *Загривный Э.А.* Оценка эффективности применения забойных электрических комплексов для добычи высоковязкой нефти в условиях низких мировых цен на нефть / Э.А. Загривный, В.И. Маларёв, В.О. Зырин // Neftegaz.ru. – 2015. - №1-2.

УДК 621.793: 620.199

ГРИГОРЬЕВ Е.В.
Санкт-Петербургский Горный университет

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА УПРОЧНЯЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Аннотация. В работе описан подход, позволяющий оценивать качество упрочняющих технологий, который основан на регистрации акустических волн, полученных в результате нагружения типовых образцов сварных соединений. Подход 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, сварные соединения, акустическая эмиссия, многоуровневая модель, разрушение.

GRIGOREV E.V.
Saint-Petersburg Mining University

QUALITY CONTROL OF HARDENING TECHNOLOGIES BY ACOUSTIC EMISSION METHOD

Abstract. The work describes an approach that allows to evaluate the quality of hardening technologies which is based on the registration of acoustic waves resulting from the loading of typical samples of welded joints. The method 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, welds, acoustic emission, multi-level model, destruction.

На сегодняшний день в связи с предъявлением высоких требований к эффективности использования и надежности технических устройств, с целью повышения ресурса работы деталей машин и механизмов, существует необходимость к разработке принципиально новых материалов и сплавов с повышенными эксплуатационными свойствами, а также улучшение как существующих материалов, так и конечных изделий с помощью так называемых упрочняющих технологий [1].

На практике применяется большое количество разнообразных упрочняющих технологий [2], способных воздействовать на весь объем изделия, на отдельные его части или создавать покрытия или слои на рабочей поверхности. Каждый из существующих способов упрочнения имеет свои преимущества и недостатки, которые характеризуются конкретными технико-экономическими показателями, определяющими эффективные области применения упрочняющих технологий. 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. Применение той или иной упрочняющей технологии на изделии зависит от условий эксплуатации,

от возможностей самой упрочняющей технологии и от многих других факторов, что является трудной задачей [3].

Из-за разнообразия 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. К сожалению, традиционные физические методы неразрушающего контроля (например, ультразвуковой метод) не позволяют обнаруживать дефекты менее четверти длины ультразвуковой волны в контролируемом материале, т.е. менее 2–5 мм [4]. Перспективными здесь являются методы излучения, так как испускают волны, которые связаны с процессом повреждения материала. Это электромагнитная и акустическая эмиссии (АЭ).

Метод АЭ дает возможность исследовать кинетику процессов на самых ранних стадиях микродеформации, дислокационного зарождения и накопления микронесплошностей. Это в принципе позволяет диагностировать и прогнозировать по сопутствующей АЭ сам момент зарождения трещины [4]. 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 [5-12], который опирается на многоуровневую модель, связывающую параметры АЭ и определяющих прочность процессов. Прочность образца определяется интенсивностью разрушения структурных элементов на этапе однородного разрушения, параметры модели позволяют связать диагностические параметры с ресурсом изделия. Данный подход показал высокую информативность для оценки состояния сварных соединений и изготовленных с их применением сосудов давления, глубоководных аппаратов, сложно нагруженных металлоконструкций, изделий из композиционных материалов и на других промышленных объектах [5-12] и был применён для оценки эффективности технологий, упрочняющих сварные соединения.

Была произведена экспериментальная оценка предложенного подхода. Апробация проводилась на металлических образцах со сварными соединениями, которые были обработаны 3 типами упрочняющих технологий, показанных на рис. 1. К первой группе металлических пластин была применена термообработка (высокий отпуск) с температурой нагревания до 600^0С со средней скоростью нагревания 10градусов в минуту и выдержкой в течение часа и последующим остыванием с вместе с печкой. Ко второй группе была применена ультразвуковая ударная обработка [13], при параметрах: частота 20,1 кГц, мощность 200 Вт. У первой части из этой группы была обработана околошовная зона сварного шва, у второй – только сварной шов. К третьей группе была применена упрочняющая технология в виде особенностей, связанных со сваркой (наличие кромок).

Образцы сварных соединений подвергались растяжению до разрыва на универсальной испытательной машине Zwick/Roell Z100, показанной на рис. 2. Испытания проводились до полного разрушения материала, в процессе которого регистрировалась акустическая эмиссия. Обработка результатов регистрации на этапе упругого нагружения и показали, что наиболее прочными образцы получались после термообработки, далее ультразвуковая обработка шва, и наличие фаски. Полученные результаты рис. 3 согласуются с результатами циклических разрушающих испытаний, описанными в диссертации [14], и могут быть применены на реальном объекте.

а)

б)

в)

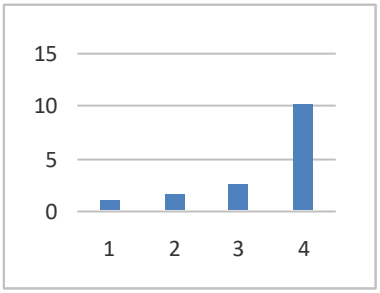
г)

Рисунок 1 - Образцы и упрочняющие технологии:
а – металлический образец из стали 3 с размерами 150×25×4 мм сваренных полуавтоматической сваркой, б - процесс получения термообработанных образцов, в – ультразвуковая упрочняюще-финишная обработка металла, г – кромки под сварку

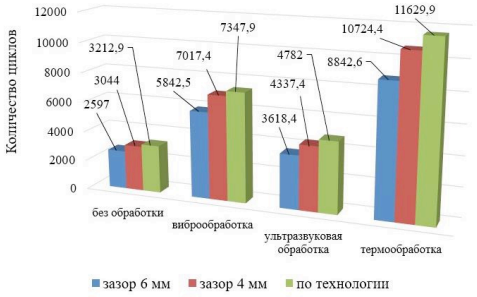
а)

б)

Рисунок 2 - Растяжение на универсальной испытательной машине Zwick/Roell Z100:
а - универсальная испытательная машина Zwick/Roell Z100, б – график разрушения металла



а)



б)

Рисунок 3 - Сравнение полученных результатов (а) с результатами из [14] (б): А – диаграмма, показывающая во сколько раз произошло упрочнение по сравнению с необработанным образцом, где 1 – УЗ обработка околошовной зоны, 2 – наличие кромки, 3 – УЗ обработка сварного шва, 4 – термообработка; Б - результаты экспериментов по определению циклической долговечности образцов [14]

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Григорьев Е.В.* Применение метода контроля качества упрочняющих технологий на основе регистрации излучения материалом акустических волн // XVII Всероссийская конференция-конкурс студентов и аспирантов горнотехнического, нефтегазового, энергетического, машиностроительного и металлургического профиля: Тезисы докладов. – СПб.: Санкт-петербургский горный университет, 2019. - С. 257.
2. *Колмыков Д.В.* О методах упрочняющей обработки стальных изделий / Д.В. Колмыков, В.В. Катенев, Е.А Косинов // Auditorium. Электронный научный журнал Курского государственного университета. – 2016. - № 4 (12).
3. *Филиппов М.А.* Методология выбора металлических сплавов и упрочняющих технологий в машиностроении: учебное пособие: в 2 т.: Т. 1: Стали и чугуны / В.Р. Бараз, М.А. Гервасьев, М.М. Розенбаум; науч. ред. С.В. Грачев. – 2-е изд., испр. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2013. – 232 с.
4. *Буйло С.И.* Физико-механические, статистические и химические аспекты акустико-эмиссионной диагностики. - Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2017. - 184 с.
5. *Носов В.В.* Контроль прочности неоднородных материалов методом акустической эмиссии // Записки Горного института. - 2017. - Т. 226. - С. 469-479.
6. *Носов В.В.* Метод акустической эмиссии. Учебное пособие / В.В. Носов, А.Р. Ямилова. – СПб.: Изд-во «Лань» 2017. - 304 с.
7. *Носов В.В.* Принципы оптимизации технологий акустико-эмиссионного контроля прочности промышленных объектов // Дефектоскопия. - 2016. - № 7. - С. 52-67.
8. *Носов В.В.* Оценка прочности конструкционных материалов на основе идентификации этапа однородного разрушения / В.В. Носов, Т.Д. Ахметшин // Научно-технические ведомости СПбГПУ. - 2013. - №2 (171). - С.182-187.
9. *Носов В.В.* Автоматизированная оценка ресурса образцов конструкционных материалов на основе микромеханической модели временных зависимостей параметров акустической эмиссии // Дефектоскопия. - 2014. - № 12. - С. 24-35.
10. *Носов В.В.* Акустико-эмиссионный контроль прочности сложно нагруженных металлоконструкций / В.В. Носов, А.И. Потапов // Дефектоскопия. - 2015. - № 1. - С. 61-72.
11. *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. - 2(219). -. С. 182-190.
12. *Носов В.В*. Акустико-эмиссионная оценка ресурса магистральных газопроводов //

Инновационные перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2018. Сборник научных трудов международной научно-практической конференции 12-13 апреля 2018 года. – СПб.: Санкт-Петербургский горный университет, 2018. - С. 194.
13. *Палаев А.Г.* Технология, оборудование ультразвуковой упрочняюще-финишная обработки металлов и контроль качества / А.Г. Палаев, А.И. Потапов // Металлообработка. - 2018. - № 6. – С. 38-41.
14. *Вержбидский К.Д.* Обеспечение ресурса вертикального стального резервуара путем дополнительной обработки сварных соединений нижнего пояса. – СПб.: Санкт-Петербургский горный университет, 2018. – 103 с.

УДК 62-833.6

ГРИГОРЬЕВ П.С.,
РЕШЕТНЯК С.Н.
Санкт-петербургский горный университет

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ ТЯГОВЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД

Аннотация. Исследуются способы повышения эффективности автоматизированного тягового электропривода. Проанализирован тяговый электропривод карьерного самосвала БелАЗ 75581. Предложена структура энергосберегающего тягового электропривода. Построена имитационная модель разработанного электропривода. Результаты моделирования показывают, что активный выпрямитель напряжения обеспечивает поддержание величины постоянного напряжения, а также возбуждение электрогенератора. Кроме того, реализуется экономичный режим работы электропривода, при этом обеспечивается заданный режим движения карьерного самосвала.

Ключевые слова: электропривод; ресурсосбережение; энергосбережение; электромеханическая трансмиссия; активный выпрямитель.

GRIGOREV P.S.,
RESHETNYAK S.N.
Saint-Petersburg Mining University

ENERGY SAVING TRACTION ELECTRIC DRIVE

Abstract. Methods of increasing the efficiency of an automated traction electric drive are investigated. The traction electric drive of BelAZ 75581 mining dump truck is analyzed. The structure of an energy-saving traction electric drive is proposed. A simulation model of the developed electric drive is built. The simulation results show that an active voltage rectifier maintains a constant voltage DC-bus, as well as excitation of an electric generator. In addition, an energy-saving mode of operation of the electric drive is implemented, while the specified mode of movement of the mining truck is ensured.

Keywords: electric drive; resource saving; energy saving; electromechanical transmission; active rectifier.

Исследование посвящено поиску способа повышения эффективности автоматизированного тягового электропривода. В современных условиях основными требованиями к транспортным средствам с электромеханическими трансмиссиями предъявляются требования по снижению потребления топлива, повышению отказоустойчивости [1, 2]. В данной работе анализируются возможности активного выпрямителя напряжения (АВН) в части энергосбережения путём реализации экономичного режима работы генератора и обеспечения ресурсосбережения. Предлагается использовать АВН в качестве регулятора потока мощности и устройства возбуждения асинхронного генератора. В [3, 4, 5] описаны способы управления энергоустановками, источником электрической энергии в которых является асинхронный генератор.

Математическое описание АВН и разработка системы управления возбуждением генератора производятся на основе следующих уравнений в системе координат *d-q* [6, 7, 8, 9, 10]:

$$U_{sd} - U_{d\,conv} = RI_{sd} + L\frac{dI_{sd}}{dt} - \omega LI_{sq},$$

$$U_{sq} - U_{q\,conv} = RI_{sq} + L\frac{dI_{sq}}{dt} + \omega LI_{sd}$$

Математическое описание автономных инверторов напряжения и разработка системы управления приводными двигателями производятся на основе следующих уравнений в системе координат *d-q* [6, 7, 9,10]:

$$U_d = -K1(I_{sdz} - I_{sd})/\Delta T + \omega LI_{sq} + U_{sm},$$

$$U_q = -K2(I_{sqz} - I_{sq})/\Delta T - \omega LI_{sd},$$

где $K1$, $K2$ - коэффициенты для компенсации перекрёстных связей, ΔT - частота дискретизации вычислений системы управления.

Моделирование проведено в среде Matlab Simulink. Модель позволяет анализировать следующие режимы работы привода:

- движение транспортного средства (т/с) с номинальными параметрами;
- экономичный режим работы генератора при движении т/с под уклон.

Алгоритм управления обеспечивает следующие режимы работы:

- поддержание на заданном уровне напряжения звена постоянного тока при снижении напряжения на выводах генератора в экономичном режиме;
- движение в аварийных режимах работы: обрыв одной из фаз генератора, выход из строя транзисторного ключа выпрямителя.

Результатом использования предложенной структуры автоматизированного тягового электропривода является повышение уровня унификации и надёжности конструкции. Результатом применения предложенного алгоритма управления является снижение потребления топлива за счёт обеспечения экономичного режима работы генератора, а также повышение отказоустойчивости трансмиссии.

Результаты моделирования номинального режима работы электропривода представлены на рис. 1 и 2.

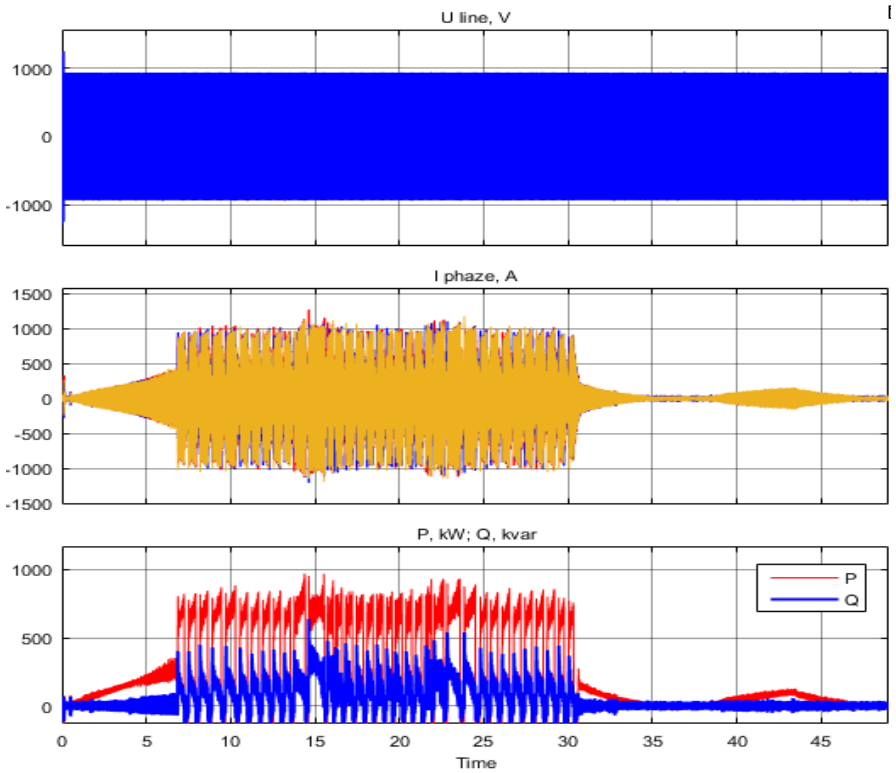


Рисунок 1 - Параметры генератора в номинальном режиме работы.

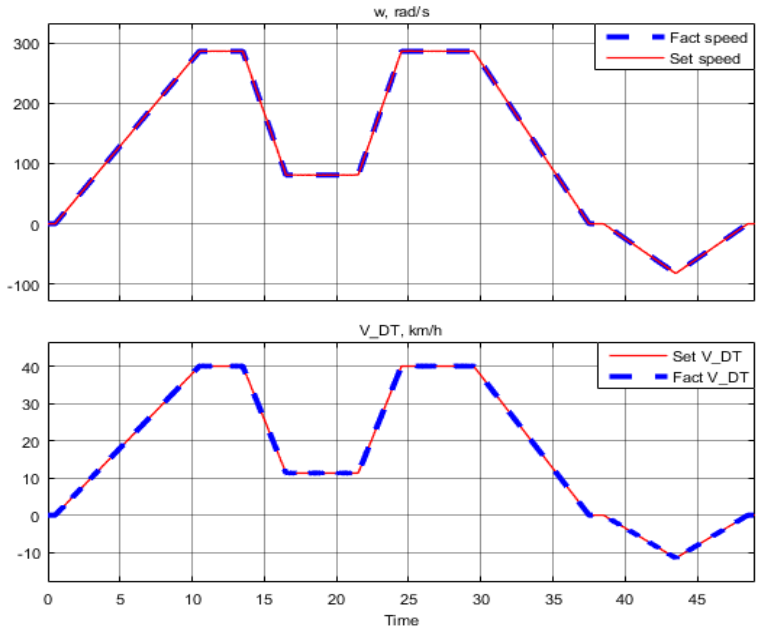


Рисунок 2 - Скоростные характеристики в номинальном режиме работы.

Результаты моделирования экономичного режима работы электропривода представлены на рис. 3, 4, 5.

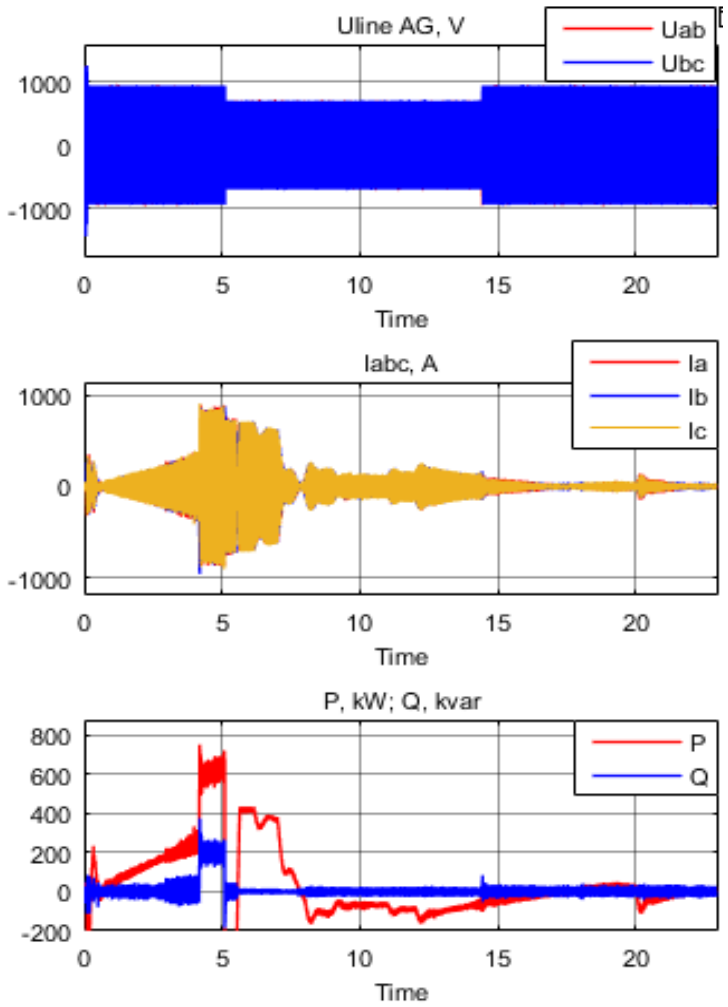


Рисунок 3 - Параметры генератора в экономичном режиме работы

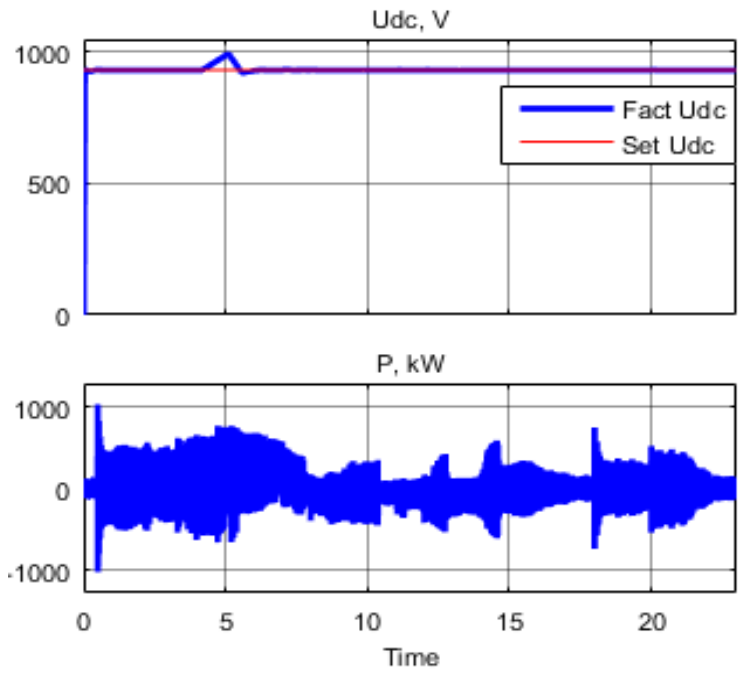


Рисунок 4 - Параметры звена постоянного тока в экономичном режиме работы

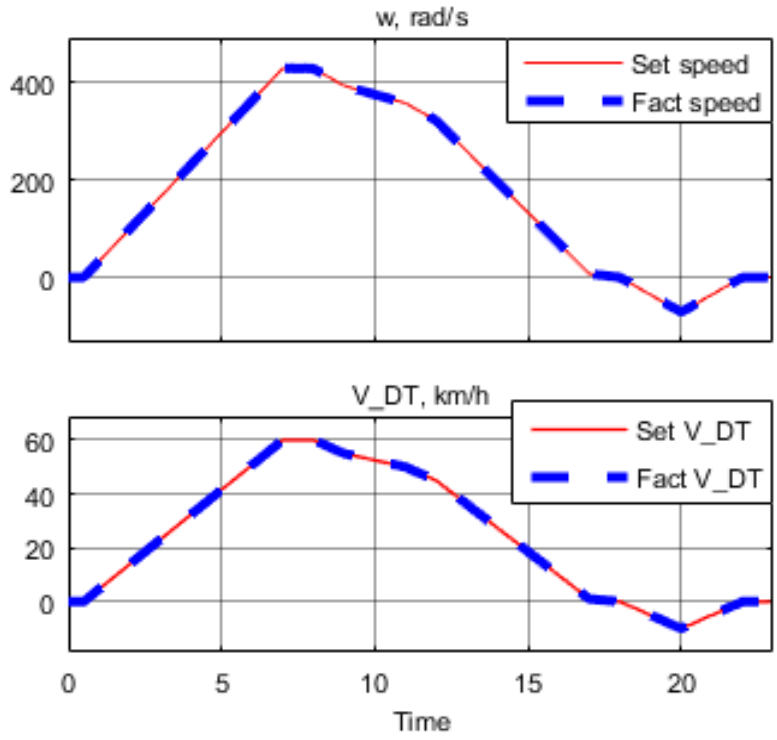


Рисунок 5 - Скоростные характеристики в экономичном режиме работы

Данная работа выполнена под руководством доцента Васильева Б.Ю.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Серов Н.А.* Электротрансмиссии самосвалов БелАЗ грузоподъемностью 136 т / Н.А. Серов, П.Н. Калачиков, М.В. Пронин [и др.] // Горное оборудование и электромеханика. – 2005. – №5. – С. 22-25.
2. *Птах Г.К.* Вентильно-индукторный реактивный электропривод средней и большой

мощности: зарубежный и отечественный опыт // Электротехника: сетевой электронный научный журнал. – 2015. – Т.2. №3. – С. 23-33.
3. *Кудрявцев А.В.* Исследование асинхронного генератора ветроэнергетической установки // Записки Горного института. - Т.170(1). - С. 54–56.
4. *Богатырев Н.И.* Асинхронные генераторы для систем автономного электроснабжения. Часть 1. Обоснование параметров асинхронного генератора / Н.И. Богатырев, В.Н. Ванурин, А.С. Креймер [и др.] // Научный журнал КубГАУ. - 2010. - №59(05). - С. 1-26.
5. *Васильев Б.Ю.* Энергосбережение и энергоэффективность в промышленности / Б.Ю. Васильев, Ю.Л. Жуковский. – СПб.: Энергетика, 2016. - 214 с.
6. *Пронин М.В.* Электромеханотронные комплексы и их моделирование по взаимосвязанным подсистемам / М.В. Пронин, А.Г. Воронцов. - СПб.: изд-во «Ладога», 2017. – 220 с.
7. *Пронин М.В.* Электроприводы и системы с электрическими машинами и полупроводниковыми преобразователями. – СПб.: Силовые машины «Электросила», 2004.
8. *Шклярский Я.Э.* Управление активным выпрямителем напряжения в составе частотно-регулируемого привода при провалах напряжения // Известия ТулГУ. - 2018. - №12.
9. *Шрейнер Р.Т.* Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. - Екатеринбург: УРО РАН, 2000. – 654 с.
10. *Ефимов А.А.* Активные преобразователи в регулируемых электроприводах переменного тока / А.А. Ефимов, Р.Т. Шрейнер. Под общей ред. д-ра техн. наук, проф. Р.Т. Шрейнера. - Новоуральск: Изд-во НГТИ, 2001. - 250 с.

УДК 7.025.4

ГРУДИНИНА А.М.
Санкт-Петербургский горный университет

ИСТОРИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ И РЕСТАВРАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ПОДВОДНОЙ АРХЕОЛОГИИ

Аннотация. Материаловедение и технологии обработки изделий неразрывно взаимосвязаны с вопросами консервации и реставрации, что также справедливо при работе с объектами, найденных в результате подводных археологических исследований. Рассмотрены исторические аспекты технологии обработки дерева и металлов и методы реставрации предметов, изготовленных из них, которые длительное время находились в агрессивных условиях соленой воды; оценены достигнутые успехи в технологии реставрации объектов исторического наследия и перспективы их развития.

Ключевые слова: дерево, бронза, чугун, кованное железо, технологии, памятник культурного наследия, реставрация.

GRUDININA A.M.
Saint-Petersburg Mining University

HISTORICAL MATERIAL PROCESSING TECHNOLOGY AND RESTORATION OF UNDERWATER ARCHEOLOGY OBJECTS

Abstract. Material science and product processing technologies are inextricably intertwined with conservation and restoration issues, which is also true when working with objects found as a result of underwater archaeological research. The historical aspects of the technology of processing wood and metals and the methods of restoration of objects made from them, which for a long time were in aggressive conditions of salt water, are considered; the achieved successes in the technology of restoration of objects of historical heritage and the prospects for their development are evaluated.

Keywords: wood, bronze, cast iron, wrought iron, technology, cultural heritage monument, restoration.

В данной статье рассмотрена взаимосвязь процессов материаловедения, художественной обработки и реставрации объектов культурного наследия, найденных в результате проведения подводных археологических исследований. Изучение практической взаимосвязи исторических основ обработки материалов и путей их реставрации является актуальным и востребованным. Только в России известно около двух десятков проводимых подводно-археологических экспедиций [9]. Последним из подобных объектов явилась находка 2018 года у берегов Эгейского моря – обломки российского корабля XVIII в., участвовавшего в Чесменском сражении во время Русско-турецкой войны (1768-1774).

Неоценимый опыт в изучении исторических технологий обработок дерева и металла, а также методов реставрации объектов подводной археологии, и путей их сохранения получен реставраторами деревянного военного парусного корабля «Vasa» XVII в., поднятого на поверхность прибрежных вод Балтийского моря в Швеции в середине XX века [6, 7, 9]. Основным достижением реставраторов «Vasa» стала разработка исключительно новых для XX в. методов консервации дерева и металла. Прежде всего, это способы консервации дерева с использованием растворов ПЭГ

(полиэтилен гликоль), что позволило решить одну из основных проблем консервации мокрой древесины – предотвращение ее разрушения и деформации после долгого пребывания в воде [6]. Однако этот метод оказался приемлемым только для объектов из дуба [7], и не был эффективен в случае мягких пород древесины, например, бука и ольхи. По этой причине элементы и объекты, выполненные из них, содержали в воде следующее десятилетие, пока не были разработаны параллельно в Швейцарии методы сублимационной сушки в процессе реставрации найденных затопленных лодок [9]. Сублимационная сушка представляет это метод удаления воды путем ее перевода ее из твердой формы (льда) в газообразную форму, минуя жидкую фазу, что позволило избежать критического разрушения сохраняемых объектов в процессе сушки [7]. Иногда эту технологию выполняли в сочетании с предварительной обработкой объектов раствором PEG.

Рассматривая процессы консервации и реставрации дерева нельзя обойти вопрос технологии его художественной обработки в Швеции XVII в. Было установлено, что значительным интересом пользовалась деревянная резьба, которая имела глубокие средневековые корни и носила яркий символический характер, который был взаимосвязан с классической древнегреческой мифологией и историей, а также основан на библейских сюжетах и легендах Швеции [5]. Скульптурное оформление «Vasa» было исполнено в объемной технике резьбы, представленной такими видами как рельефная, скульптурная и накладная резьба [2, 7]. Большинство скульптур были позолочены и/или окрашены в яркие цвета, что было установлено реставраторами музея «Vasa» и искусствоведом Питером Тонгебергом в результате проведенного ими научного исследования более 300 деревянных образцов [7, 12]. Было установлено, что скульптуры и орнамент на корабле были позолочены «goldleaf» (сусальным золотом), при этом использовалась методика золочения на полимент, в качестве которого применяли гематит (красный железняк) [3, 7]. В окраске корабля была использована широкая палитра цветов, состоявшая из 15 пигментов минерального и органического происхождения [4].

Кроме дерева, являвшегося основным материалом реставраторов, также проводили работы над рядом объектов из металлов: три бронзовые пушки, 850 чугунных ядер, а также несколько котлов, которые неплохо сохранились, за счет высокого содержания углерода в составе чугуна, что обусловило их сохранность в условиях агрессивной водной среды [7]. Было установлено, что чугунные изделия были отлиты по технологии доменной плавки – процесс получения чугуна в доменной печи из железосодержащих руд на основе процесса восстановления оксидов железа. Кроме чугуна на борту были найдены, но в очень плохом состоянии, крепления и болты из кованого железа, содержание углерода в которых не превышало 1% [7]. Кованное железо обрабатывалось исключительно методом ковки, поскольку не поддавалась закалке и содержало 0,1-0,25% углерода [5, 7]. «Шведское» железо являлось разновидностью сварочного железа и изготавливалось по технологии, заимствованной из Валлонии, состоявшей в обезуглероживании чугуна в процессе окисления, а известно, что чистое железо подвержено коррозии в «простой воде», а нахождение «железа в соленой воде» приводит к его полному разрушению [8]. Примером технологий обработки цветных металлов могут служить три бронзовых пушки, которые были изготовлены по технологии «медленной» формовки, основанной на принципах технологии литья колоколов, но отличалась составам сплава (в два раза меньше содержание олова, что было связано с увеличением пластичности и прочности сплава) [1, 10, 13]. Бронза, как сплав, «обладает высокой коррозионной стойкостью», но ее характеристики значительно зависят от характера и количества легирующих добавок [8]. Скорость коррозии на воздухе не превышает «0,002 мм/год при содержании олова в сплаве 5–8%» [7]. Интересно, что в морской воде бронза более устойчива, чем медь или латунь. Однако от содержания олова этот показатель может существенно повышаться.

Так, сплав с долей олова 6% коррозирует на 0,04 мм в год, а с долей металла 10% – на 0,016 мм в год [7, 11].

Для каждого изделия проводили разработку индивидуальных методов реставрации с учетом тех технологий, которые были использованы в процессе их создания. В случае изделий из бронзы или свинца или олова потребовалось минимальное вмешательство: механическая очистка и сушка на воздухе, поскольку все они были найдены в очень хорошем состоянии, не смотря на то, что более 300 лет пролежали в слабосоленой морской воде [6, 7, 11]. Тогда как для найденных железных объектов был разработан следующий метод консервации: их подвергали нагреванию до 600-800°С с использованием газообразного водорода, что способствовало восстановлению водорода в структуре предмета, за счет реакции между водородом и продуктами коррозии (ржавчиной) [7]. После охлаждения объект запечатывали парафином, чтобы предотвратить повторное попадание влаги и окисления под воздействием кислорода. Однако такой метод имеет существенный недостаток: воздействие высоких температур может приводить к полному изменению внутренней структуры металла, что приводит к «уничтожению» достоверной информации о технологическом процессе изготовления предмета [7, 12].

Таким образом, научный подход, примененный реставраторами музея «Vasa», на основе изучения процессов материаловедения, художественной обработки и реставрации их объекта, пролежавшего в прибрежных водах балтийского моря более 300 лет, позволил разработать уникальные методы реставрации «мокрого дерева» и металлов, которые могут быть успешно применены для сохранения различных объектов подводной археологии. Вместе с тем, следует отметить, что данный опыт справедлив для объектов, которые были извлечены из морской воды слабой засоленности, тогда как применимость их к объектам, извлекаемых из морской воды с высокой степенью засоленности, по-видимому, требует дальнейшего изучения и доработок.

Рассмотренный материал наглядно доказывает неразрывность и взаимосвязь процессов совершенствования консервации и реставрации с вопросами о свойствах и технологических особенностях обработки материалов. Использование комплексного методического подхода обуславливает то, что в случае необходимости, имеется возможность создания реплик исторических памятников искусства, сочетающих многовековые традиции и современные технические возможности.

Данная работа выполнена под руководством доцента Коляда Е.М.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бех Н.И.* Мир художественного литья. История технологии [Электронный ресурс] / Н.И. Бех [и др.] // Art-con.ru: Социальный специализированный интернет-ресурс. 2007-2019.
URL: http://art-con.ru/node/3379.
2. Всеобщая история искусств: в 6 т. / под ред. Б.В. Веймарна и др. - М.: Искусство, 1956-1966. - Т. 2. Кн. 1. - С. 459–520; Т. 4. - С. 1044–1061.
3. *Дедюхина В.С.* Проблемы реставрации резного позолоченного декора в интерьерах [Электронный ресурс] / В.С. Дедюхина, О.В. Лелекова // Art-con.ru: Социальный специализированный интернет-ресурс. 2007-2019.
URL: http://art-con.ru/node/5325.
4. *Киплинг Д.И.* Техника живописи. - М.: В. Шевчук, 2011. – 536 с.
5. *Курина Н.Н.* Деревянная резьба скандинавии и домонгольского Новгорода. - Тамбов: «Грамота»,.2012. - № 10-2. - С. 99-103.
6. *Ланитцки Г.* Амфоры, затонувшие корабли, затопленные города (Очерки о

подводной археологии) / Г. Ланитцки; Пер. с нем. В.А. Сеферьянца. - М.: Прогресс, 1982. – 159 с.
7. Музей VASA. официальный сайт [Электронный ресурс] // The Vasa Museum: part of the Swedish National Maritime and Transport Museums.
URL: https://www.vasamuseet.se/en.
8. *Пирайнер В.Ю.* Материаловедение художественной обработки: учебник для вузов. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2008. – 480 с.
9. *Таскаев В.Н.* Подводная археология и консервация мокрого дерева. - М.: Московский подводно-археологический клуб, 2012. - № 3. - С. 70-79.
10. *Теофил.* Манускрипт «Записка о разных искусствах» [Электронный ресурс] // Art-con.ru: Социальный специализированный интернет-ресурс. 2007-2019.
URL: http://art-con.ru/node/7133.
11. *Фармаковский М.А.* Очерки по методике технологического исследования реставрации и консервации древних металлических изделий [Электронный ресурс] / Art-con.ru: Социальный специализированный интернет-ресурс. 2007-2019.
Режим доступа: http://art-con.ru/node/3379.
12. *Hocker E.* Maintaining a Stable Environment: Vasa's New Climate-Control System. - Royal Institute of Technology, 2009. - P. 7.
13. *Hudson C.* Small Bronze Sculpture from the Ancient World. - Malibu, California: J. Paul Getty Museum, 1990. – 284 p.

УДК: 622.233: 622.34.012.21.3

ГРЯЗНОВ Д.А.
Санкт-Петербургский горный университет

ПОГРУЖНОЙ ПНЕВМОУДАРНИК БУРОВОГО СТАНКА С РЕГУЛИРУЕМЫМ УДАРНЫМ ИМПУЛЬСОМ

Аннотация. В данной работе рассмотрен станок СБШ с установкой на него погружного пневмоударника. Установка ППУ позволяет увеличить скорость бурения и осуществлять бурение в случае повышения вибрации при бурении массива со сложной структурой, включающей крепкие и мягкие прослойки. Указано, что установка на ППУ заслонки, регулирующей поток воздуха, позволит создать переменный ударный импульс.

Ключевые слова: погружной пневмоударник; скорость бурения; воздушная заслонка.

GRYAZNOV D.A.
Saint-Petersburg Mining University

SUBMERSIBLE PNEUMATIC DRILL RIG IMPACTOR WITH ADJUSTABLE SHOCK PULSE

Abstract. In this paper, we consider the Roller bit drilling machine with the installation of a submersible pneumatic impactor on it. The installation of SPH allows increasing the drilling speed and performing drilling in the event of increased vibration when drilling an array with a complex structure, including strong and soft layers. It is indicated that the installation of a damper on the SPH that regulates the air flow will allow to create a variable shock pulse.

Keywords: submersible pneumatic hammer; drilling speed; air damper.

Снижение вибрации буровых станков, например, СБШ-250, как известно, может достигаться установкой гидропневмоамортизаторов или гасителей колебаний в гидроприводах таких станков. На станках с системой снижения вибрации могут быть установлены так называемые погружные пневмоударники (ППУ), которые решают следующие задачи:

1. Повышение скорости бурения;
2. Возможность бурить без снижения скорости бурения породы со сложной структурой, включающие прослойки твердых и мягких пород;
3. Повышение ресурса бурового станка.

На кафедре машиностроения СПГУ по заданию АО «ИЗ-КАРТЭКС» в 2019 году выполнена работа по обоснованию конструкции ППУ для СБШ-270 (рис. 1). Однако, задача возможности работы СБШ с ППУ без замены нижней стандартной штанги на укороченную штангу и ППУ решена сейчас чисто теоретически.

Нами предлагается конструкция ППУ с регулирующей воздушный поток в ставе заслонкой (рис. 1), установка которой во внутренней нижней части бурового става позволяет регулировать поток воздуха, поступающий в ППУ. Заслонка снабжена приводом с электродвигателем постоянного тока и батареей аккумуляторов, предусмотрена возможность регулирования положения заслонки радиосигналом из кабины. Указанная конструкция ППУ, которая в настоящее время патентуется, позволяет:

1. Без замены бурового става работать по породам разной структуры;

2. Регулированием потока воздуха, поступающего в ППУ обеспечивать работу такого ППУ, в различных режимах с регулируемой величиной ударного импульса.

Такая конструкция ППУ предложена АО «ИЗ-КАРТЕКС», и в случае пролонгации договора с СПГУ позволит создать буровой станок нового технического уровня с повышенной скоростью бурения и регулируемой величиной силы удара поршня ППУ по шарошке.

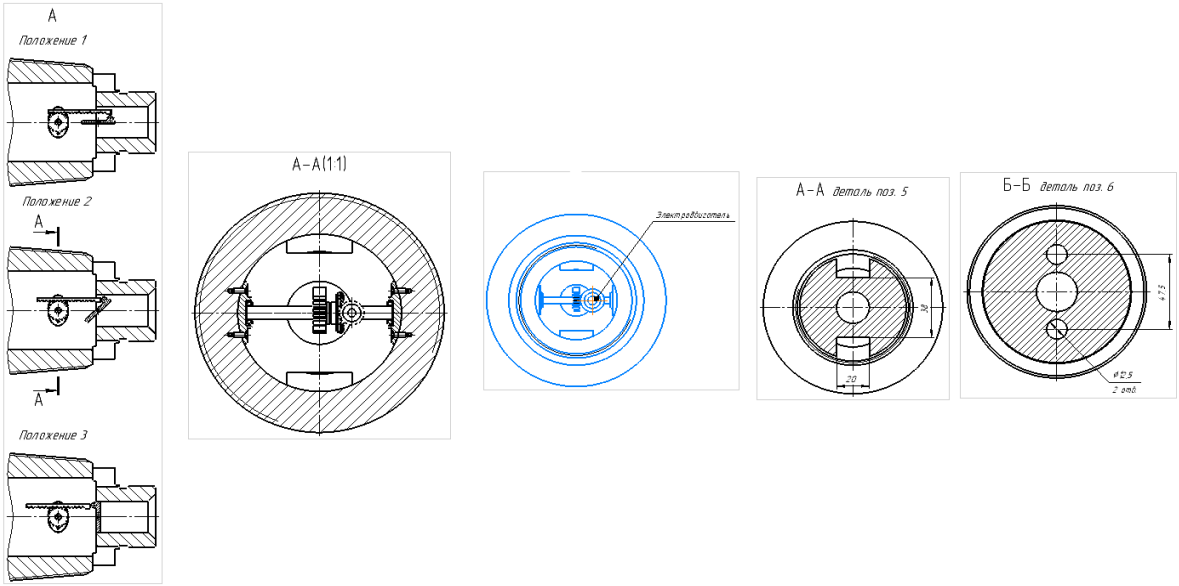


Рисунок 1 – Устройство управления потоком воздуха

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Юнгмейстер Д.А.* Модернизация ударных буровых механизмов / Д.А. Юнгмейстер [и др.]. – СПб.: Политехника-сервис, 2012. – 149 с.

3. *Ветюков М.М.* Механо-математическая модель пневмоударника с упругим демпфером / М.М. Ветюков [и др.] // Гидравлика и пневматика. – 2002. - № 4. - С. 6-7.

4. *Лукашов К.А.* Совершенствование карьерной техники: необходимость, осуществимость, направления / К.А. Лукашов, В.А. Пивнев, Д.А. Юнгмейстер // Горные машины и автоматика. – 2002. - №6. – С. 9-11.

5. *Куклина Е.А.* Новая парадигма российского горного машиностроения / Е.А. Куклина [и др.] // МОСТ. – 2002. - №52. – С. 37-40.

7. *Нагаев Р.Ф.* Сравнение передаваемых в разрушаемую породу импульсов для одинарных и сдвоенных ударников / Р.Ф. Нагаев [и др.] // Пневматические, гидравлические, вибрационные машины. Тезисы доклада на Всероссийской конференции. – Орел: Изд. ОрлГТУ. – 2003. - С.135-137.

8. *Бурак А.Я.* Обоснование параметров гидроударника исполнительного органа проходческого комплекса для проведения выработок шахт Метростроя Санкт-Петербурга / А.Я. Бурак [и др.] // Гидравлика и пневматика. - 2005. - №19. - С.13-15.

9. *Ушаков Л.С.* Гидравлические машины ударного действия / Л.С. Ушаков, Ю.Е. Котылев, В.А. Кравченко. - М: Машиностроение, 2000. – 416 с.

10. *Ветюков М.М., Лукашов К.А., Пашкин Л.Н., Пивнев В.А., Воинов Б.Ф., Юнгмейстер Д.А.* Перфоратор // Патент № 2223378. 2004. Бюл. № 4.

11. *Ветюков М.М., Лукашов К.А., Пивнев В.А., Юнгмейстер Д.А.* Способ бурения крепких пород и устройство для его реализации // Патент №2209913. 2003. Бюл.№22.

12. *Юнгмейстер Д.А.* Совершенствование карьерной техники: необходимость, осуществимость, направления / Д.А. Юнгмейстер, В.А. Пивнев // Горные машины и

автоматика. - 2002. - № 6. - С. 9-11.
13. *Ветюков М.М.* Расчет продольной устойчивости вращающегося бурового става / М.М. Ветюков, Д.А. Юнгмейстер // Горные машины и автоматика. - 2004. - № 8. - С. 46-48.

УДК 62-79

ГУРЕВИЧ И.А.
Санкт-Петербургский горный университет

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОЦЕНРОБЕЖНОГО НАСОСА

Аннотация. В этой статье приведены принципы организации диагностических систем на примере электроцентробежных насосов. Рассмотрены способы контроля качества работы оборудования, основанные на анализе дефектов расширенным методом вектора Парка тока и напряжения, который базируется на годографе, и характерных гармоникахдля определенного типа неисправностей. Построены алгоритмы для написания программного кода для диагностической системы. Предполагается разработать стенд, имеющий устройства сбора данных National Instruments, программное обеспечение Simulink Matlab, электродвигатель с нагрузкой для наблюдения сигналов двигателя в реальном времени и моделирования неисправностей.

Ключевые слова: электроцентробежный насос, диагностика, вектор Парка, система диагностики, разработка стенда, моделирование неисправностей.

GUREVICH I.A.
Saint-Petersburg Mining University

BASIC DIAGNOSTIC METHODS OF ELECTRIC CENTRIFUGAL PUMP

Abstract. This paper describes the principles of organization of diagnostic systems on the example of electric center pumps. Methods of quality control of equipment operation based on the analysis of defects by the extended method of the current and voltage Park vector, which is based on a hodograph, and characteristic harmonics for a certain type of fault are considered. Algorithms for writing software code for the diagnostic system are constructed. It is planned to develop a stand with National Instruments data acquisition devices, Simulink Matlab software, and an electric motor with a load for real-time monitoring of engine signals and fault modeling.

Keywords: electric centrifugal pump, diagnostics, Park vector, diagnostics system, stand development, fault modeling.

Наиболее актуальной задачей на сегодняшний день является обеспечение энергоэффективной и надежной работы оборудования в различных сферах производственной деятельности. Одним из важнейших факторов для обеспечения этих характеристик является организация систем мониторинга и диагностики оборудования в различных условиях. Диагностика крайне важна с точки зрения отсутствия финансовых издержек вследствие появления отказов и неисправностей, способных привести к остановке технологического процесса или же вывести из строя оборудование. Необходимость оценки и проверки качества характеристик оборудования требует разработки и создания методологии по которой будет возможно точное и быстрое определение неисправностей в его работе. В данной работе рассмотрены алгоритмы диагностики на примере центробежного насоса, разработаны блок-схемы, позволяющие алгоритмизировать процесс обнаружения неисправности, разработать программное обеспечение и создать лабораторный комплекс для мониторинга и диагностики неисправностей двигателей.

Неисправности ЭЦН можно разделить на механические и электрические. Первая группа может возникать в самом насосе и двигателе. Вторая относится к обмоткам статора, стержням ротора и кабельным соединениям. К механическим повреждениям относятся: развенчивание крепежных болтов, протечка сальников и уплотнений, появление эксцентриситета вала, эрозия рабочего колеса вследствие кавитации, повреждение фланцев, разрушения втулок и крепежных деталей, асимметрия ротора и износ подшипников. К электрическим неисправностям можно отнести различные виды коротких замыканий - двухфазные, трехфазные, однофазные на землю, межвитковые замыкания, обрыв стержней ротора и обрыв питающих проводов.

Для диагностики электроцентробежного насоса применяются различные методы, а использование их в совокупности даст точный и достоверный результат. В первую очередь, целесообразно определить необходимые датчики. Для измерения вибрации ЭЦН применяются вибродатчики, устанавливаемые на корпус оборудования в трех различных плоскостях. Температуру подшипников следует измерять термопарой. Износ подшипника влечет за собой потери энергии на трение и нагрев. Другие рассмотренные методы диагностики неисправностей позволяют производить диагностику, снимая только показания токов и напряжений, но требуют больших вычислительных мощностей. Так анализ дефектов на основе вектора Парка тока статора может определить, как механические, так и электрические неисправности. На основе фазных токов статора высчитываются два вектора. При построении графика зависимости амплитуд двух векторов, образуется годограф, по форме которого можно определить ту или иную неисправность. Расширенный метод вектора Парка тока и напряжения способен дать точный результат диагностики. В первую очередь, происходит формирование векторов тока и напряжения, после чего идет их сравнение, и если они не равны, то необходимо определить гармонику в спектре. Наличие неисправностей приводит к изменению магнитного потока в воздушном зазоре, что дает выявить характерные гармоники для разных видов неисправностей.

Для алгоритмизации процесса диагностики в электроцентробежном насосе было создано несколько блок схем. Первая схема позволяет определить электрическую неисправность, исходя из показаний напряжений и тока. Сначала проверяется запустился ли двигатель. Не запуститься он может при обрыве питающих проводов в соединении звездой, коротком замыкании или превышении нагрузкой пускового момента двигателя. Если двигатель запустился, то необходимо проверить номинальные значения токов и напряжений. Двигатель может запуститься при соединении треугольником и одной оборванной обмоткой статора, но один линейный ток будет больше других линейных токов в 1,73 раза. При работе электродвигателя на пониженном напряжении питающей сети момент на валу будет значительно снижен, из-за чего машина может остановиться. Если напряжение питания сети будет увеличено, то токи статора превысят номинальные значения, вследствие этого, обмотки перегреются и пострадает изоляция обмоток. На рис. 1 представлена блок схема диагностики асинхронного двигателя.

Последующие блок-схемы представлены в основной статье. Вторая схема содержит в себе алгоритм анализа диагностики модели вектора Парка. В зависимости от вида неисправности годограф принимает разные формы. Для исправного двигателя это круг, для дефекта в статоре это эллипс, при неисправности в роторе границы годографа становятся толще. Третья блок-схема основана на расширенном методе вектора Парка тока статора. Его преимущество в определении точной причины отказа системы. Определенной неисправности соответствует индивидуальная гармоника.

В совокупности данные методы способны с большой точностью определить проблему на ее начальном этапе, что увеличит срок эксплуатации оборудования, уменьшит период простоя во время ремонта.

Рисунок 1 - Блок-схема электрических дефектов

На основе представленных методов диагностики будет разработан лабораторный стенд для мониторинга и диагностики. Блок-схемы являются базой для написания программного кода на языке С, совместимом с внутренним языком пакета Simulink Программы Matlab. Основные части стенда: программа Simulink Matlab, устройство сбора данных National Instruments, электродвигатель с нагрузкой, датчики тока, напряжения, а также вибрации и температуры подшипников. Подобная система обеспечит возможность в реальном времени наблюдать сигналы, поступающие от двигателя и анализировать их с помощью программы, в том числе моделировать различные неисправности.

Работая в пакете Simulink можно также осуществлять обратную задачу - работу

с устройствами сбора данных из MATLAB с помощью дополнительного оборудования типа myDAQ компании National Instruments, тем самым решая актуальную задачу подбора параметров модели объекта по экспериментальным данным.

Работа выполнена под руководством доцентов кафедры электроэнергетики и электромеханики Ковальчук М.С., Коржева А.А.

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. - 115.
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. - 327.
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. - 50.
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. - 177.
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. - 66.
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. – СПб.: ЛЭТИ, 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 // Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus). 2018 IEEE Conference of Russian. - 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. – СПб.: ЛЭТИ, 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. - № 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. *Колесников В.В.* Моделирование характеристик и дефектов трехфазных асинхронных машин: Учебное пособие. - СПб.: Издательство «Лань», 2017. - 114 с.
14. *Лазарев Ю.* Моделирование процессов и систем в MATLAB. Учебный курс. – - СПб.: Издательство BHV, 2009. - 512 с.
15. *Герман-Галкин С.Г.* Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB: Учебное пособие. - СПб.: КОРОНА принт, 2011. - 320 с.

УДК 681.51

ДВОЙНИКОВ В.М.,
СМИРНОВ В.А.
Санкт-Петербургский горный университет

ВНЕДРЕНИЕ В СИСТЕМУ «УМНЫЙ ДОМ» ВЫСОКОТОЧНОГО МОНИТОРИНГА МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Аннотация. Рассмотрены возможности реализации внедрения в систему «умный дом» высокоточного мониторинга магнитного поля. Проведены исследования, разработана математическая модель для высокоточных измерений, и получен алгоритм для практического использования в системе «умный дом».

Ключевые слова: магнитометр; микроконтроллер; магнитное поле Земли; контроль среды; программное обеспечение; система «умный дом.

DVOYNIKOV V.M.,
SMIRNOV V.A.
Saint-Petersburg Mining University

INTRODUCING HIGH-PRECISION MAGNETIC FIELD MONITORING INTO THE SMART HOME SYSTEM

Abstract. The possibilities of implementing and introducing high-precision monitoring of the magnetic field into the “smart home” system are considered. Studies were carried out, mathematical models were obtained for high-precision measurements, and an algorithm was obtained for practical use in the "smart home" system.

Keywords: magnetometer; microcontroller; Earth's magnetic field; environmental control; software; system "smart home.

«Умным домом» называют систему домашней автоматизации, которая помогает сэкономить временные ресурсы на управление всеми остальными инженерными и развлекательными системами [1-4]. И чем больше различных систем, тем выше необходимость в использовании системы автоматизации в квартире или загородном доме. Существующую концепцию предлагается дополнить альтернативной идеей применения датчика определения положения окна. В настоящее время существует решение этой задачи, но оно имеет два недостатка: система состоит из двух частей (магнит и магнитометр), что усложняет процесс установки; невозможность определения конкретного положения окна (закрыто, открыто, проветривание).

Теоретически был установлен и практически определен оптимальный диапазон индуктивности для эффективного мониторинга магнитного поля, а также разработан алгоритм и программное обеспечение (ПО) для определения и контроля положения тела в пространстве с помощью данных с магнитометра.

Был Рассмотрен вариант реализации эффективного измерения магнитного поля земли для определения точного положения предметов в пространстве в данный момент времени. Получено:

$$\text{Магнитное поле} = B_m + B_d + B_{ds}.$$

- Модель магнитного поля Земли, B_m;
- Корректировка с помощью магнитной обсерватории, B_d;
- Интерференция с металлической основой окна, B_{ds}.

Наибольший интерес представляет величина B_m, которая позволяет определить ориентацию датчика в пространстве.

Магнитное поле Земли со временем непрерывно меняется, но скорость естественного изменения незначительна в рамках практического использования величины. Однако, существуют другие внешние факторы, которые существенно оказывают воздействие на магнитное поле. Сильное влияние на направление магнитного вектора оказывают металлические предметы, в частности вещества, магнитная восприимчивость которых очень велика. В работе вышесказанное было экспериментально подтверждено.

Квантовый датчик измерения магнитного поля фирмы STMicroelectronics обладает высокой точностью (3.4-4.1 мГс), малыми габаритами, низким энергопотреблением, выгодным соотношением цена/качество, что необходимо для устройств системы «умный дом». Магнитометры производства STM позволяют измерять магнитное поле Земли по трем координатным осям. Магнитометры (Digital output magnetic sensor) не имеют механической части и не относятся к классу МЭМС. Отличительными чертами магнитометров компании STM являются сверхнизкое энергопотребление, высокая производительность и миниатюрный корпус. Благодаря этим характеристикам магнитометры STM успешно используются в новых разработках мобильных телефонов, планшетов и персональных навигационных устройствах [5].

Основной проблемой применения датчика является определение граничных значений, в которых находится конкретное положение предмета. Предлагается использовать некоторый объем, называемый эллипсоидом неопределенности, основанный на законе нормального распределении и на методе центра неопределенности [6]. Применение его заключается в том, чтобы обозначенные границы положений предмета между собой не пересекались и, в отсутствии помех, было однозначно определено, какое положение оно занимает. Поэтому для детектирования положения используются только те значения проекций на оси, которые отличаются в разных положениях на большую величину, чем величина неопределённости.

Для эксперимента в качестве объекта исследования было выбрано окно в помещении, в котором не находилось устройств и предметов, сильно влияющих на магнитное поле. По результатам проведенных опытов было принято решение использовать поправку в два среднеквадратических отклонения. Но в условиях магнитных бурь, связанных со вспышками на солнце, показания датчика имеют больший разброс, нежели в обычных условиях, поэтому необходимо увеличить границы до трех среднеквадратических отклонений (рис. 1).

Рисунок 1 - График зависимости величины индукции магнитного поля от времени (во время магнитных бурь (23.02.2020))

Учитывая характеристики датчика и требования к функционалу устройства, был использован следующий алгоритм:

1. Калибровка, включающая в себя нахождение средних значений с поправкой на 2(3) среднеквадратических отклонения;
2. Выбор проекции на ось с наибольшим изменением величины;
3. Выбор направления изменения магнитного поля;
4. Определение положения на основе значений, полученных ранее;
5. В случае внешнего воздействия - сообщение об ошибке.

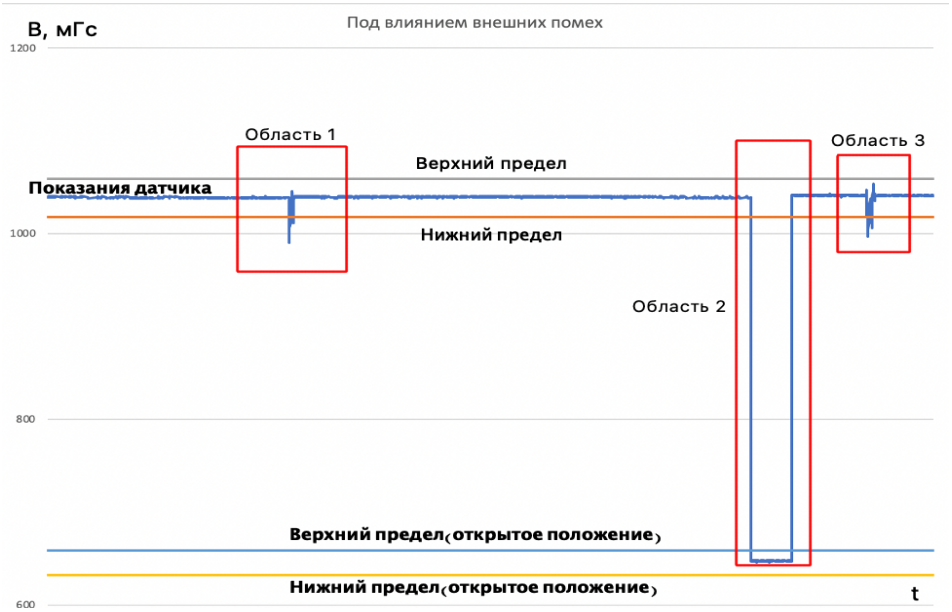


Рисунок 2 - График зависимости величины индукции магнитного поля от времени (07.03.2020)

Проведен эксперимент, цель которого – показать возможность использования разработки в бытовых условиях. Для наглядности процесс работы изображен в виде графика (рис. 2). Видно, как отмечалось ранее, сильное влияние вблизи находящихся металлических предметов, как в области 3, а также радиоаппаратуры, в частности смартфона, как в области 1. В области 2 показано изменение показаний проекции магнитного поля на одну из осей при смене положения.

На основании проведенных экспериментов был сделан вывод о том, что в бытовых условиях выбранный датчик во взаимодействии с разработанным алгоритмом успешно справляется с поставленной ему задачей.

Таким образом, отметим полученные результатыпредставленной работы: теоретически обоснован и практически определен оптимальный диапазон индуктивности для эффективного мониторинга магнитного поля; разработан алгоритм и программное обеспечение для определения и контроля положения тела в пространстве с помощью данных с магнетометра.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Belitsky A.A.* Development of an Arduino-based CO2 Monitoring Device / A.A. Belitsky, P.D. Lapshina, S.P. Kurilova // Proceedings of the 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2019, St. Petersburg. – 2019. - P. 595-597.

2. *Белицкий А.А.* Универсальный генератор управляющих сигналов на основе микропроцессора ATMEGA8 / А.А. Белицкий, К.А. Антонов, Е.В. Кузьменко //

Энергетика и энергосбережение:теория и практика. Материалы III Всероссийской научно-практической конференции. - Кемерово, 2017. - С. 301.
3. *Denisova O.V.* Technology of manufacturing the materials for biomedical sensors / O.V. Denisova, A.A. Belitskiy, I.V. Shelkovnikova // Proceedings of the 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2018. – 2018. – P. 1203-1204
4. *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. – Vol. 87(9). – 092014.
5. LIS3MDL - 3-axis MEMS magnetic field sensor [Электронный ресурс]. www.st.com/web/en/catalog/sense_power/FM89/ SC1449/PF255198
6. *Архипова А.Б.* Аппроксимация трехпараметрического множества неопределенности при помощи эллипсоида / А.Б. Архипова, А.А. Лузин // Молодой ученый. - 2010. - №8. Т. 1. - С. 13-16.

УДК 621

ДЕРЯБИНА Т.О.,
ГОЛОБОРОДЬКО И.О.
Санкт-Петербургский горный университет

СИНТЕТИЧЕСКИЕ АЛМАЗЫ ДЛЯ СОВРЕМЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Аннотация. В настоящее время, наряду с ювелирным и абразивным алмазом значительный интерес вызывает применение синтетических монокристаллов, достаточно высокого структурного совершенства и чистоты для решения экстремальных инженерно-технических задач.

Ключевые слова: синтетический алмаз; микроволновое излучение; исследование структур; твёрдость; нанослоевые композиции; электродуговой метод; термобарический метод.

DERYABINA T.O.,
GOLOBORODKO I.O.
Saint-Petersburg Mining University

SYNTHETIC DIAMONDS FOR THE MODERN INDUSTRY

Abstract. At present, along with jewelry and abrasive diamonds, the use of synthetic single crystals of sufficiently high structural perfection and purity to solve extreme engineering problems is of considerable interest.

Keywords: synthetic diamond; microwave radiation; structural research; hardness; nanolayer compositions; electric arc method; thermobaric method.

Самым популярным материалом для полупроводников, начиная с 1960 года, является кремний. Но современная промышленность диктует свои условия - требует производство более мощных, быстро и менее нагревающихся устройств, требует альтернативу кремнию [3]. Главную проблему решили путем искусственного выращивания алмаза - подлинной альтернативы кремнию. Такие качества способны предоставить алмазные полупроводники.

Алмаз твёрдый, химически инертный, обладает высокой теплопроводностью при невысоком линейном коэффициенте расширения, что делает его идеальным материалом для окон вывода инфракрасного и микроволнового излучения [1]. При этом наиболее предпочтительными среди синтезированных алмазов являются образцы, выращенные электродуговым методом.

Синтетический алмаз стал вытеснять селенид цинка в качестве выходных окон в мощных CO2 лазерах и гиротронах. Это стало возможным благодаря постановке в России технологии выращивания крупных синтетических монокристаллов с гексагональной структурой и разработке процессов получения легированных эпитаксиальных алмазных слоев, в том числе нанослоевых композиций [4]. В настоящее время уже ведутся попытки создать алмаз со смешанной формой решетки (сочетание кубической и гексагональной форм строения), абразивные свойства которой будут выше, чем у каждой в отдельности [2, 3].

Синтетический алмаз – рукотворная копия природного минерала. В настоящее время, наряду с ювелирным и абразивным алмазом значительный интерес вызывает применение синтетических крупных (десятки карат) монокристаллов, достаточно высокого структурного совершенства и чистоты, для решения экстремальных

инженерно-технических задач [4, 6].

Большинство промышленных применений синтетических алмазов связано именно с их твёрдостью, в качестве сверхтвёрдого режущего инструмента, абразивных порошков, полировальных паст. Благодаря твёрдости, превосходящей любой известный материал, алмазы используются для шлифовки любых материалов, даже при огранке самих алмазов [3, 5].

Выращивание алмазов термобарическим методом осуществляется в ячейке, внутри которой находится графит и, выступающий в роли катализатора, металл. Это может быть никель или кобальт. Во время нагревания металл растворяет графит. На алмазе, который находится в ячейке, осаждаются атомы углерода. На оттенок изготавливаемого «продукта» оказывают влияние дополнительные элементы. Для этой цели используется титан, бор или алюминий. Из окружающей среды в ячейку проникает азот, который дает алмазу желтый цвет. Однако алюминий и титан, взаимодействуя с азотом, уменьшает насыщенность данного цветового компонента [5, 6]. В определенных случаях этот цвет может быть полностью удален.

Далее ячейка с алмазом помещается в пресс. Искусственный минерал подвергается давлению в 55000 атм. и нагреву до 1500 градусов. Получается, что в лаборатории воссоздаются естественные условия выращивания алмаза [2].

Скорость роста зависит от разницы температур в ячейке. Повышение этой разницы ведет к ускорению процесса и повышению числа включений из металла, которые используются при синтезе алмаза [1]. Такие включения очень важны для определения природы искусственного минерала. При использовании данного способа выращивание «продукта» происходит за десятки или сотни часов.

Благодаря технологии, термобарическим методом можно достаточно легко и быстро получать желтые алмазы. Если нужно изготовить образец другого цвета, необходимо оказать дополнительное воздействие на кристаллы.

Чтобы получить синтетический «продукт» зеленого цвета, используют метод облучения электронным пучком. Его применяют после окончательной обработки кристалла. Для изготовления серых, голубых и синих образцов используют бор. Он воздействует на решетку алмаза и дает нужный цвет. Однако рост таких минералов осуществляется медленнее [5].

Бесцветные алмазы получаются, когда процесс происходит без использования азота и бора. Самый крупный синтетический бриллиант бесцветного типа был получен в 2015 году в Гонконге. Этот уникальный бриллиант имел вес 10,02 карата. Его изготовили из алмаза весом 32,26 карата. На выращивание минерала ушло 300 часов.

Это самая большая по объёму ниша использования алмазов в промышленности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Михайлов А.В.* Рентгеноструктурный и рентгеноспектральный анализы в ходе исследований структуры кристаллических веществ / А.В. Михайлов, Л.Г. Борисова // Инновации на транспорте и в машиностроении. Материалы IV Международной научно-практической конференции. - СПб.: НМСУ «Горный», 2016. - Том II. - С. 66-67.

2. *Никитина В.О.* Растровая электронная микроскопия в ходе исследования сложных рельефов поверхности / В.О. Никитина, Л.Г. Борисова // Инновации на транспорте и в машиностроении. Материалы IV Международной научно-практической конференции. - СПб.: НМСУ «Горный», 2016. - Том II. - С. 61-62.

3. *Борисова Л.Г.* Перспективы развития нанотехнологий и создания новых наноматериалов / Л.Г. Борисова, А.С. Лугвищик // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2017. Материалы Международной научно-технической конференции. - СПб.: Санкт-Петербургский горный университет, 2017. - С. 58.

4. *Борисова Л.Г.* Создание самозалечивающихся наноматериалов – одно из направлений в современном материаловедении / Л.Г. Борисова, А.С. Герасимова // Материалы Международной научно-технической конференции «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2017». СПб.: Изд-во ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский горный университет, 2017. С.24.
5. *Борисова Л.Г.* Комплексный метод исследования деформации и разрушения материалов /Л.Г. Борисова // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2017. Материалы Международной научно-технической конференции. - СПб.: Санкт-Петербургский горный университет, 2017. - С. 47.
6. *Борисова Л.Г.* Особенности макроструктуры точных центробежнолитых заготовок /Л.Г. Борисова, Т.П. Горшкова // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2019. Материалы Международной научно-практической конференции. - СПб.: Санкт-Петербургский горный университет, 2019. - С. 82-85.

УДК 622.331: 622.271.9

ДЖАФАРОВ К.А.
Санкт-Петербургский горный университет,

АНАЛИЗ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ШНЕКОРОТОРНОЙ ЩЕТОЧНОЙ УБОРОЧНОЙ МАШИНЫ

Аннотация. В данной работе проведен анализ рабочего процесса шнекороторной щеточной уборочной машины.

Ключевые слова: рабочий процесс, шнекороторная машина, торф.

JAFAROV K.A.
Saint-Petersburg Mining University,

ANALYSIS OF THE WORKING PROCESS OF THE AUGER BRUSH SWEEPER

Abstract. In this paper we analyzed the working process of a screw brush sweeper.

Keywords: working process, auger machine, peat.

Шнеко-роторная машина предназначена для уборки торфяного сырья из расстила на поле путем сметания массы, ее роторного разгона и перемещения по баллистической траектории в штабель или через направляющий аппарат в кузов транспортного средства. Щеточный шнек-подборщик сметает торф к середине рабочего органа для поступления в расположенный с тыльной стороны роторно-лопастной метатель [1-5].

В метательном аппарате торф поступает на лопасти метателя, транспортируется ими по неподвижному цилиндрическому кожуху в виде призмы волочения перед каждой лопастью с одновременным перемещением вдоль лопастей в радиальном направлении и выбрасывается из метателя под действием центробежных сил через направляющий патрубок.

В первую очередь покидают лопасти метателя в тангенциальном направлении при достижении направляющего патрубка фрагменты торфа, находящиеся у поверхности кожуха, со скоростью, равной окружной скорости метателя. Затем происходит сход с лопастей более удаленных от края фрагментов торфа с абсолютной скоростью, равной геометрической сумме окружной скорости метателя $v_м$ и радиальной скорости $v_л$, приобретенной этими фрагментами к моменту схода с лопасти:

$$v_т = \sqrt{(v_м^2 + v_л^2)}.$$

При работе роторно-лопастного метательного аппарата на фрагмент торфа, движущийся вдоль лопасти и одновременно вращающийся вместе с ротором, действуют сила инерции $P_{ин}$, противоположная направлению движения, радиально направленная центробежная сила $P_ц$, перпендикулярная направлению движения кориолисова сила $P_к$ и силы трения торфа о лопасть, определяемые действием составляющих сил $P_ц$и$P_к$, нормальных к поверхности лопасти. При работе щеточного рабочего органа в забое рабочая скорость сметания торфяного сырья $v_р$ определяется отношением величины подачи щетки C к величине времени одного оборота щетки $t_{об.щ.}$ Величина подачи C определяется равенством времени подачи машины на величину C и продолжительности одного оборота щетки:

$$\frac{k_{уд.с} \cdot F_{ро} \cdot h}{N \cdot k_p} = \frac{2\pi}{\omega_ш}.$$

Следовательно:

$$h = \frac{2\pi \cdot N \cdot k_p}{\omega_ш \cdot k_{уд.с} \cdot F_{ро}},$$

Скорость шнекороторного подборщика в забое, скорость резания или скорость подачи. На основании рассмотренных соотношений. Определяется по формуле:

$$v_{рб} = \frac{N \cdot k_p}{k_{уд.т} \cdot F_{ро}},$$

Рабочая скорость подборщика увеличивается с ростом мощности и уменьшением прочности торфа $k_{уд.т}$ и площади сечения удаляемого торфяного настила $F_{ро}$. При определении величины $F_{ро}$ необходимо для соответствующих условий работы определить коэффициент k_F, как указано выше.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Михайлов А.В.* Анализ условий эксплуатации щеток торфяных машин // Совершенствование процессов добычи и переработки торфа. Сб. науч. тр. – Л. :Изд. ВНИИТП, 1986. - Вып. 57. – С. 3-7.
2. *Михайлов А.В.* Уплотнение торфа при работе машины УШР-1 // Физические основы торфяного производства. – Калинин: КГУ, 1986. – С. 118-120.
3. *Большунов А.В., Кремчеев Э.А., Михайлов А.В., Нагорнов Д.О.* Энергонезависимый технологический комплекс по производству продукции из торфа // Патент на изобретение RU 2529059. 2013.
4. *Михайлов А.В.* Эффективность карьерной добычи торфа с полевым механическим обезвоживанием / А.В. Михайлов [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. - №7. - С. 30-41.
5. *Михайлов А.В.* Анализ условий вертикальной выемки торфяного сырья / А.В. Михайлов, Е.А. Родионов, И.Е. Звонарев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2019. - №1. - С.48-54.

УДК 621-05:621.92

ДЛИ М.А.
Санкт-Петербургскийгорный университет

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕРКАЛА ЦИЛИНДРОВ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Аннотация. В статье обсуждается вопрос перспективности применения технологии магнитно-абразивной обработки при обеспечении качества поверхности зеркала блока цилиндров двигателя внутреннего сгорания.

Ключевые слова: Магнитно-абразивная обработка; финишные операции; шероховатость; двигатель внутреннего сгорания; гильзы цилиндров; горное машиностроение.

DLI M.A.
Saint-Petersburg Mining University

ANALYSIS OF THE PROBLEM OF TECHNOLOGICAL SUPPORT THE SURFACE QUALITY OF A MIRROR OF CYLINDERS INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Abstract. The article discusses the application of magnetic-abrasive finishing technology for fine-tuning the internal surfaces of the cylinder block of an internal combustion engine.

Keywords: magnetic-abrasive finishing; finishing operations; roughness; internal combustion engine; cylinder liners; mining engineering.

В настоящее время блок цилиндров двигателя внутреннего сгорания (ДВС) является наиболее сложной и дорогостоящей деталью силового агрегата транспортного средства. Как известно, к блоку цилиндров предъявляются строгие требования к качеству поверхностного слоя, особенно к поверхности зеркала цилиндров ДВС.

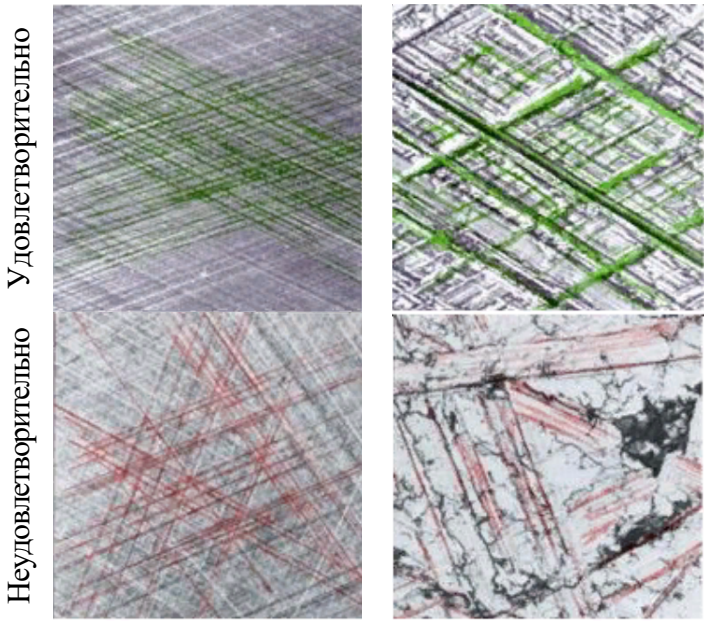
Причиной строгих требований является повышенное изнашивание поверхности зеркала цилиндров ДВС [3], возникающее вследствие значительных нагрузок, испытываемых данной поверхностью в процессе эксплуатации ДВС [4]. В связи с этим, проблеме технологического обеспечения качества поверхности зеркала цилиндров ДВС должно быть уделено особое внимание, так как сформированное качество поверхности зеркала влияет на основные характеристики двигателя ДВС (ресурс и долговечность).

На сегодняшний день выработаны основные технологические требования для поверхности зеркала цилиндров двигателя ДВС [2]: допуск цилиндричности 1 мкм, волнистость менее 0,2 мкм, прямолинейность образующей не менее 2…5 мкм, угол наклона рисок, образованных в результате обработки 40…80°, параметры шероховатости: Rt = 3…6 мкм, Ra = 0,2…0,8 мкм, Rz_{max} = 4 мкм; при этом должен отсутствовать дефектный слой металла [2].

Существующее технологическое обеспечение данных требований осуществляется посредством применения хонингования на окончательной стадии изготовления поверхности зеркала цилиндров ДВС. Хонингование представляет собой процесс обработки абразивными брусками, образующими специальный инструмент-головку, преимущественно гладких цилиндрических поверхностей. В процессе хонингования инструмент-головка совершает вращательное, возвратно-поступательное или осевое

колебательное движения. В результате таких движений абразивные бруски перемещаются по винтовым линиям [1].

Перемещение абразивных брусков по винтовым линиям позволяет при хонинговании обеспечивать рельеф поверхности зеркала цилиндров двигателя ДВС в виде штриховой сетки (рис. 1), сформированной множеством борозд (рисок). Известно, что угол наклона рисок штриховой сетки должен варьироваться в диапазоне 40…55°. Связано это в первую очередь с распределением масла, а, следовательно, и с износом сопрягаемых поверхностей. В случае, если угол будет слишком большим (более 60°), то будет наблюдаться недостаточное смазывание поверхностей по причине перерасхода масла в рабочей зоне; в случае, если угол рисок будет слишком малым (менее 30°), будет увеличиваться вибрационная составляющая по причине плохого распределения масла. В обоих случаях, износ сопрягаемых поверхностей будет только увеличиваться.



- Увеличение 15:1 Увеличение 80:1

Рисунок 1 – Внешний вид поверхности после хонингования

Несмотря на положительные эффекты хонингования при формировании рельефа поверхности зеркала цилиндров двигателя ДВС в виде штриховой сетки, существует также и недостатки, вызванные: большой трудоемкостью обеспечения требуемых характеристик поверхности, при которой обработка осуществляется в несколько операций, брусками различной зернистости; шаржированностью обработанных поверхностей абразивными зернами, влияющей на ускоренный износ сопрягаемых поверхностей; наличием острых гребешков в микропрофиле поверхности [12].

Вследствие этого, необходимо прибегать к использованию более эффективных финишных процессов обработки с учетом выработанных технологических требований [5-8, 15], предъявляемых к поверхности зеркала цилиндров двигателя ДВС.

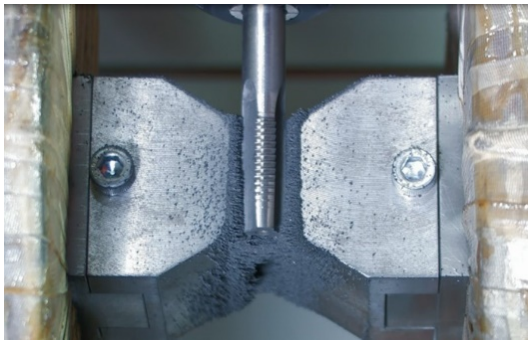


Рисунок 2 – Процесс магнитно-абразивной обработки

Одним из наиболее перспективных в настоящее время процессов финишной обработки является магнитно-абразивная обработка (рис. 2). Магнитно-абразивная обработка заключается в том, что порошковая ферромагнитная абразивная масса, уплотненная энергией магнитного поля, осуществляет магнитное и абразивное воздействия на обрабатываемую заготовку, при этом последней должны быть заданы различные сочетания движений (вращательное, осциллирующее, возвратно-поступательное) [9-11]. Следует отметить, что применение магнитно-абразивной обработки на окончательной стадии изготовления изделия позволяет повлиять на все вышеизложенные технологические требования, предъявляемые к поверхности зеркала цилиндров двигателя ДВС. Как

правило, у изделий, подвергнутых магнитно-абразивной обработке, удаляется предшествующий дефектный слой, и формируется новый – упрочненный [9-11], повышается контактная прочность и износостойкость в 2-3 раза, а также увеличивается относительная опорная длина профиля поверхности до 75-85%. Более того возможность управления жесткостью магнитно-абразивной массы, воздействующей на обрабатываемую заготовку, способствует в отличие от хонингования совмещению черновой, получистовой и чистовой операций [13, 14].

На данный момент на кафедре машиностроения Санкт-Петербургского горного университета разрабатывается способ и устройство для магнитно-абразивной обработки поверхности зеркала цилиндров двигателя ДВС. По окончании разработки будут проведены исследования по определению качественных характеристик получаемых поверхностей, а также будут выявлены режимные параметры магнитно-абразивной обработки для формирования требуемого рельефа поверхности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бабичев А.П.* Хонингование / А.П. Бабичев [и др.]. - Волгоград: ВолгГАСУ, 2013. - С. 124.
2. *Жуков В.А.* Технологический процесс плосковершинного хонингования цилиндров двигателей ВАЗ / В.А. Жуков. – Самарканд, 1989.
3. *Захаров Ю.А.* Основные эксплуатационные дефекты гильз цилиндров двигателей внутреннего сгорания автомобилей / Ю.А. Захаров, Р.Р. Булатов // Молодой ученый. - 2015. - №5. - С. 148-150.
4. *Захаров Ю.А.* Восстановление рабочей поверхности гильз цилиндров двигателей внутреннего сгорания автомобилей / Ю.А. Захаров, Р.Р. Булатов // Молодой ученый. - 2015. - №5. - С. 145-148.
5. *Ершов Д.Ю.* Причины возникновения динамических процессов в технологических системах механической обработки / Д.Ю. Ершов, И.Н. Лукъяненко // Journal of advanced research in technical science. - 2017. - № 4. - С. 39-43.
6. *Ефимов А.Е.* Совершенствование технологии механической обработки титановых сплавов посредством применения предварительного пластического воздействия / А.Е. Ефимов, В.В. Максаров, А.Ю. Важенин // Металлообработка. - 2019. - 3. – С. 20–26.
7. *Красный В.А.* Триботехнические характеристики деталей горных машин с регулярной микрогеометрией поверхности / В.А. Красный, В.В. Максаров // Металлообработка.- 2016. - № 1. - С. 29-35.
8. *Красный В.А.* Применение метода направленного затвердевания для повышения качества трубчатых заготовок из различных чугунов / В.А. Красный, В.Ф. Бевза, В.П. Груша // Металлург. - 2018. - № 6. - С. 36-44.
9. *Максаров В.В.* Технологические особенности магнитно-абразивной обработки в условиях цифровых технологий. / В.В. Максаров [и др.] // Металлообработка. - 2019. - № 4(112). - С. 3-10.
10. *Максаров В.В.* Технологическое обеспечение шероховатости резьбовых поверхностей посредством предварительного магнитно-абразивного полирования метчика / В.В. Максаров, А.И. Кексин // Металлообработка. - 2018. - № 2 (104). - С. 35-40.
11. *Максаров В.В.* Технологическое повышение качества сложнопрофильных поверхностей методом магнитно-абразивного полирования / В.В. Максаров, А.И. Кексин // Металлообработка. - 2017. - № 1 (97). - С. 47-57.
12. *Минаков А.П.* Современные технологии финишной обработки гильз гидроцилиндров / А.П. Минаков [и др.] // Вестник Белорусско-Российского университета. - 2015. - № 3 (48). - С. 45-56.
13. *Сакулевич Ф.Ю.* Основы магнитно-абразивной обработки. - Мн.: Наука и техника, 1981. – 328 с.

14. *Скворчевский Н.Я.* Эффективность магнитно-абразивной обработки / Н.Я. Скворчевский [и др.] // Физ. - техн. инс-т. - Минск.: Наука и техника, 1991. - С. 214.
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. – Т. 3. - С. 142-145.

УДК 621.9

ДУРЯГИН А.Н.
Санкт-Петербургский горный университет

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПАРЫ РОТОРОВ ДВУХВИНТОВОГО МУЛЬТИФАЗНОГО НАСОСА

Аннотация. В статье рассмотрен принцип работы мультифазного двухвинтового насоса, определена проблема выхода из строя мультифазных насосов и предложен метод повышения износостойкости рабочих поверхностей, а именно цементация с термоциклированием. Представлены результаты воздействия на диффузионный слой стали при применении данного метода обработки материала.

Ключевые слова: мультифазный двухвинтовой насос; ротор; износостойкость; цементация; термоциклирование; закалка.

DURYAGIN A.N.
Saint-Petersburg Mining University

INCREASING WEAR RESISTANCE ROTOR PAIRS OF TWO SCREW MULTIPHASE PUMP

Abstract. The article discusses the principle of operation of a multiphase twin-screw pump, identifies the problem of failure of multiphase pumps and proposes a method to increase the wear resistance of working surfaces, namely cementation with thermal cycling. The results of exposure to the diffusion layer of steel using this method of processing the material are presented.

Kewords: multiphase twin screw pump; rotor; wear resistance; cementation; thermal cycling; quenching.

Вследствие того, что сырая нефть в чистом виде очень редко выступает на поверхность земли и, как правило, она находится в виде загазованной смеси с фракциями песка, твёрдыми частицами и пластовыми водам, используют различные способы её перекачки [1].

При использовании традиционных насосов для перекачки нефти, возникает необходимость разделения данных фракций [2].

Применение же мультифазных насосов позволяет избежать данной операции. Они способны перекачивать смесь, состоящую из нефтепродуктов, воды, абразивных материалов с содержанием попутного газа до 90%. Использование технологии мультифазной перекачки нефти позволяет добиться ряда преимуществ в отрасли нефтедобычи. Но и данные насосы имеют проблемы. Практика показывает, что большое количество выхода из строя мультифазных насосов связано с изнашиванием рабочих поверхностей их роторов: винтовой нарезки и шеек валов под подшипники – цапф [3].

Технологические методы позволяют снизить интенсивность износа поверхностей роторов и повысить ресурс машин и оборудования, снижая затраты на ремонт и обслуживание. Тем самым, в данный момент времени возникает необходимость разработки решений по совершенствованию технологии изготовления мультифазных насосов для перекачки нефтепродуктов [3, 4, 5].

Для предотвращения повреждений роторов мультифазного двухвинтового насос, изготовленных из стали 18ХГТ, возможно использование различных методов повышения износостойкости [1].

Основа повышения износостойкости деталей машин – это воздействие на их рабочую поверхность, и в частности, на кристаллическую решетку металла посредством применения разнообразных видов обработки [6, 7].

Одним из наиболее распространённых и традиционных методов для поверхностного упрочнения стальных изделий является цементация. Однако она имеет как ряд преимуществ, так и ряд существенных недостатков, одним из которых является продолжительность процесса [8, 10, 11].

Одним из перспективных способов насыщения поверхности углеродом является термоциклическая обработка, представляющая собой проведение операции не при постоянной температуре (традиционная цементация), а при переменной температуре, изменяющейся циклически [8, 9].

В работе [8] проведено исследование влияния температурно-временных параметров на результаты цементации стали 18ХГТ при постоянном составе газовой цементирующей среды. Для проведения эксперимента было выбрано три режима цементации стали (рис. 1).

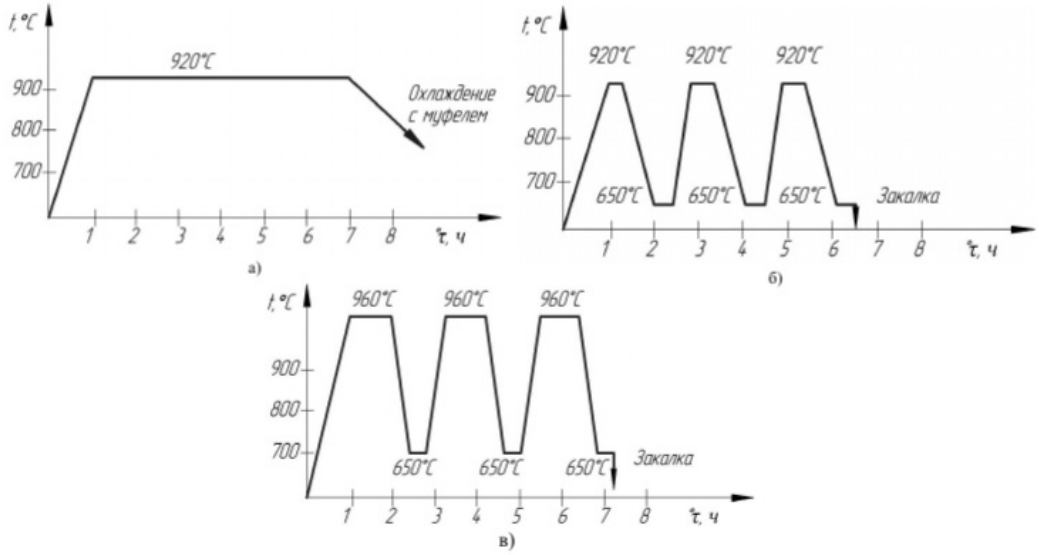


Рисунок 1 – Режимы цементации стали:
а – при постоянной температуре, б, в – при переменных температурно-временных характеристиках

В результате при постоянных режимах цементации: время насыщения составило 7 часов, глубина диффузионного слоя 0,84 мм, скорость насыщения углеродом 0,12 мм/ч, цементируемый слой представляет собой гомогенную твердую структуру с редкими включениями карбидов. При переменных температурно-временных параметрах: общее время насыщения составило от 6,5 до 7 часов, глубина слоя от 1,5 до 1,75 мм, скорость насыщения от 0,23 до 0,25 мм/ч, структура с мелкими и средними включениями карбидов от 1 до 5 мкм [8].

При исследовании процесса цементации с использованием термоциклирования в интервале температур 960…650° было обнаружено, что ни в диффузионном слое, ни в сердцевине цементируемых изделий не происходит роста аустенитного зерна в материале. Поэтому цементация посредством термоциклической обработки позволяет исключить нагрев цементированных заготовок под закалку и проводить закалку непосредственно с цементационного нагрева. Это позволяет сделать такую обработку

более экономичной, так как значительно сокращается время обработки заготовки, уменьшается расход энергии на её нагрев [8, 9, 10]

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что скорость насыщения при переменных температурах в 1,9…2,1 раза выше, чем при стационарном режиме. Сократилось время насыщения поверхностного слоя стали, увеличилась глубина насыщаемого слоя. Таким образом, изменение температурно-временных характеристик позволило существенно ускорить диффузию углерода в стали и процесс цементации в принципе. Также при цементации с термоциклированием возможно проведение закалки стали непосредственно из цементационной печи без дополнительного нагрева заготовки, что в значительной мере удешевляет обработку стальных изделий, а в их диффузионных слоях образуется большое число карбидных включений, равномерно распределённых в материале, которые благоприятно сказываются на износостойкости цементированных слоёв [8, 11-15].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *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

2. *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.

3. *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.

4. *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.

5. *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.

6. *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.

7. *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.

8. *Костин Н.А.* Газовая цементация стали 18ХГТ с использованием термоциклирования / Н.А. Костин, В.И. Колмыков, Е.В. Трусова / Auditorium. Электронный научный журнал Курского государственного университет. - 2018. - № 3 (19).

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. *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.

12. *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.
13. *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.
14. *Ершов Д.Ю.* Оценка вибрационных процессов механических систем на этапе их проектирования в машиностроении // Записки Горного института. - 2014. - Т. 209. - С. 51-54.
15. *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 IPDME2017. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции. - 2017. - Т. 1. - С. 302-305.

УДК 621.316

ДЯЧЕНОК Г.В.
Санкт-Петербургский горный университет

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА УПРАВЛЕНИЯ СПРОСОМ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ РОССИИ

Аннотация. В статье рассматривается метод управления спросом, его применение в России и мире, а также дальнейшие перспективы развития и эффект от его внедрения в энергетическую сеть.

Ключевые слова: электроэнергетика, управление спросом, энергосистема, суточный график потребления.

DYACHENOK G.V.
Saint-Petersburg Mining University

PROSPECTS FOR APPLICATION OF THE METHOD OF DEMAND RESPONSE IN THE ELECTRIC POWER INDUSTRY OF THE RUSSIAN INDUSTRIAL ENTERPRISE

Abstract. The article discusses the demand management method, its application in Russia and the world, as well as further development prospects and the effect of its implementation in the energy network.

Keywords: electric power industry, demand response, power system, daily consumption schedule.

Актуальность метода управления спросом

За последнее десятилетие методика управления спросом стала полноценным инструментом для осуществления баланса спроса и предложения в энергосистемах.

С точки зрения технологии данный метод не является самостоятельным. Управление спросом – это средство, повышающее гибкость энергосистемы за счет применения различных технологий, позволяющих потребителю изменять спрос на электроэнергию из сети.

Существуют различные конфигурации управления спросом на электропотребление:

1) отсечение пика – снижение нагрузки, прежде всего, в периоды пикового спроса;

2) сбережение – снижение электрических нагрузок, более или менее одинаково, в течение всех или большинства часов в день;

3) строительство нагрузки – увеличение электрических нагрузок, более или менее одинаково, в течение всех или большинства часов в день;

4) заполнение доли – улучшение коэффициента загрузки системы путем создания нагрузки в полупиковые периоды;

5) сдвиг нагрузки – уменьшение нагрузок в периоды пикового спроса за счет повышения нагрузки в полупиковые периоды. Нагрузка смещается, при этом общий объем потребления электроэнергии существенно не изменяется;

6) гибкая форма загрузки – изменения потребления электроэнергии по мере необходимости энергосистемы

Выбор конфигурации управления спросом на электропотребление зависит от

формы графика электропотребления, его структурных составляющих и особенностей управления электроэнергетической системой [1].

Мировой опыт управления спросом

С каждым годом география охвата механизма управления спросом (Demand Response) растет и все больше воспринимается не как кратковременный доход, а как инструмент оптимизации энергоснабжения.

Проанализировав европейские страны на внедрение управления спросом (DR), было сделано заключение:

- DR функционирует на коммерческой основе: Финляндия, Франция, Великобритания, Ирландия, Бельгия, Монако и Швейцария;
- DR функционирует частично: Норвегия, Швеция, Германия, Австрия, Нидерланды и Дания;
- Начальная стадия внедрения DR: Польша и Словения;
- Рынок закрыт для участия DR: Эстония, Италия, Испания и Португалия.

В настоящее время в разных странах механизм управления спросом развит неравномерно, но нацеленность одна – это повышение актуальности DR в энергосистемах.

Мировая практика показывает, что управление спросом позволяет задействовать для управления энергосистемой мощности потребителей в объеме до 5–10% от пикового спроса с потенциалом роста до 15% и более в среднесрочной перспективе. К 2025 году мировой рынок услуг по управлению спросом вырастет в сравнении с 2018 годом в 3,5 раза – до 144 ГВт [2].

Управление спросом в России

Данная методика является новым источником гибкости в энергосистеме. И только начинает внедряться в механизм энергобаланса.

Сдерживающие факторы:

- Экономическая и технологическая сложность управления спросом;
- Возможность потери прибыли (генерирующие компании и энергосбытовые).

Движущие факторы:

- Необходимость в снижении затрат на электропотребление;
- Снижение затрат на эксплуатацию электросетевого комплекса;
- Повышение уровня социально-экономического развития (фед. руководство);
- Повышение уровня социально-экономического развития (руководство субъектов РФ).

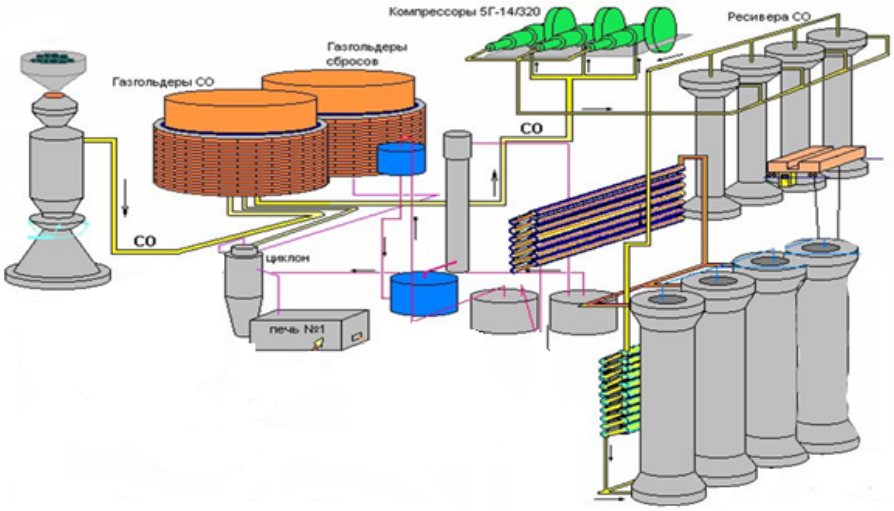


Рисунок 1 - Технологическая схема

В качестве примера применения метода управления спросом была выбрана Кольская горно-металлургическая компания, которая представляет собой единое горно-металлургическое производство по добыче сульфидных медно-никелевых руд и цветных металлов. В одном из технологических процессов (рис. 1) применяются компрессоры, которые в периоды своей работы создают пиковые нагрузки.

Из всех возможных способов сглаживания суточного графика потребления наиболее эффективным в рамках данного технологического цикла будет внедрение накопителей электрической энергии.

На рис. 2 показано, насколько сгладился суточный график благодаря внедрению в энергетическую систему накопителя.

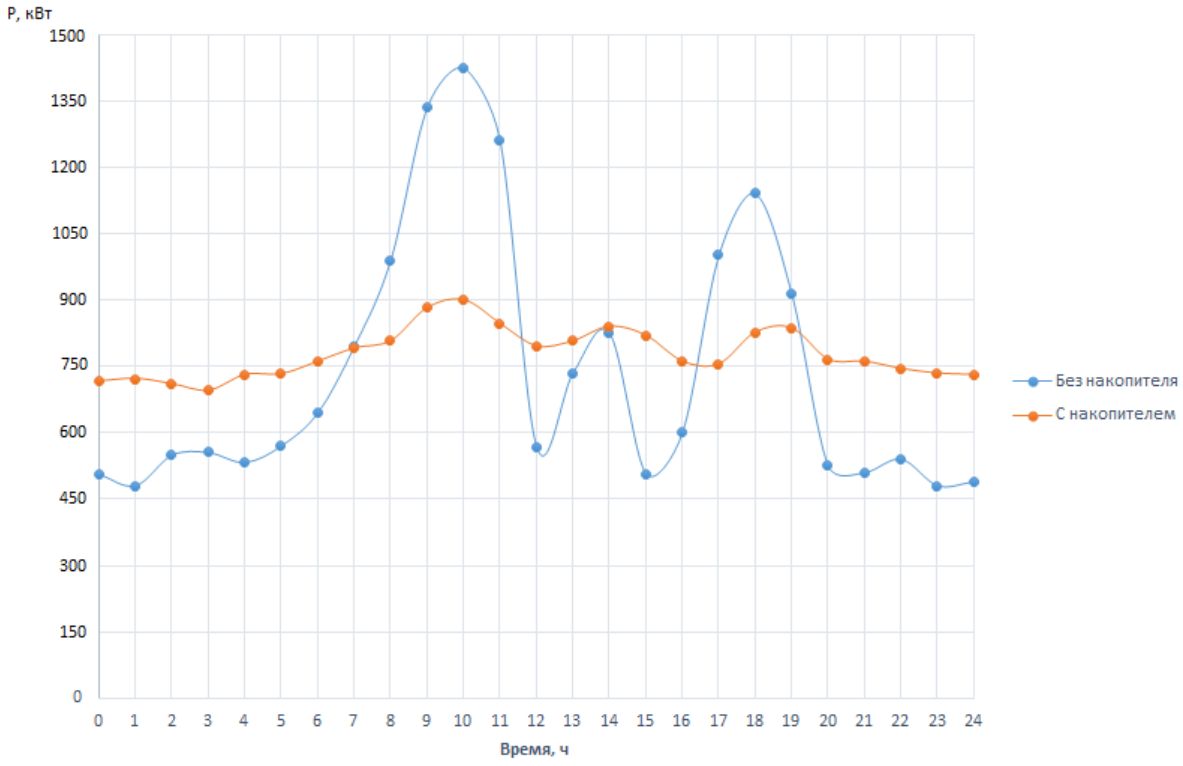


Рисунок 2 - График суточного потребления

Заключение

На основе проведенного анализа по использованию метода управления спросом на мировой платформе энергосистемы и промышленного предприятия России, эффект от его внедрения был разделен на 3 сферы:

Экономическая.

- Снижение стоимости электроэнергии для конечного потребителя;
- Сокращение инвестиций в избыточное строительство генерирующих и сетевых мощностей;

Социальная.

- Повышение энергоэффективности вовлеченных потребителей;
- Потребитель получает возможность влиять на рынок — формирование класса активных потребителей;
- Создание высокотехнологичных рабочих мест.

Технологическая.

- Снижение использования неэффективной генерации;
- Повышение гибкости и управляемости энергосистемы;

- Снижение объема вращающегося резерва.

Работа выполнена под руководством доцента кафедры электроэнергетики и электромеханики Жуковского Ю. Л.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Баев И.А.* Актуальные задачи внедрения системы управления спросом на электропотребление в России / И.А. Баев, И.А. Соловьева, А.П. Дзюба // Вестник науки Сибири. - 2015. - № 4 (19).
2. *Нехороших И.Н.* Мировая практика управления спросом на электроэнергию / И.Н. Нехороших [и др.] // Экономика знаний. – 2019.
3. *Bazhin V.Y.* Processing of low-demand coal and other carbon-containing materials for energy production purposes / V.Y. Bazhin, V.B. Kuskov, Y.V. Kuskova // Inzynieria Mineralna. – 2019.
4. *Nevskaya M.A.* Environmental and business challenges presented by mining and mineral processing waste in the Russian Federation / Nevskaya M.A. et al. // Minerals. – 2019.

УДК 621.651

ЖДАНОВ В.В.
Санкт-Петербургский горный университет

УВЕЛИЧЕНИЕ РЕСУРСА РАБОТЫ ПЛУНЖЕРНЫХ НАСОСОВ МЕТОДОМ ПОДБОРА МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИЙ

Аннотация. В данной работе представлен способ увеличения ресурса работы плунжерного насоса. Решение поставленной задачи включает в себя подбор материала и соответствующего режима термообработки.

Ключевые слова: плунжер, легированная сталь, термообработка.

ZHDANOV V.V.
Saint-Petersburg Mining University

INCREASING THE SERVICE LIFE OF PLUNGER PUMPS BY SELECTING MATERIALS AND COATINGS

Abstract. This paper presents a method for increasing the service life of the plunger pump. Decision of tasks includes the selection of the material and the required heat treatment mode.

Keywords: plunger, alloy steel, heat treatment.

Насосы возвратно-поступательного действия находят применение в различных отраслях промышленности и решают задачи самого разного профиля. От возвратно-поступательных агрегатов ведут свою историю и дозировочные насосы, появление которых обусловлено развитием научно-технического прогресса и возникновением новых задач по автоматизации производственных процессов [1]. Несмотря на длительное развитие возвратно-поступательных дозировочных насосов данное оборудование имеет ряд определенных недостатков, которые требуют новых технических решений. На данный момент, перед производителями насосного оборудования стоит задача увеличения ресурса работы основных узлов и рабочих органов.

Решением поставленной задачи может стать подбор нового материала для основного рабочего органа – плунжера. Существуют производители, которые успешно внедряют на рынок керамические или композиционные плунжерные насосы [2]. В данной же работе проводится анализ возможной замены материала плунжера на конструкционную легированную сталь. Технические условия, по которым подбирались стали для изготовления плунжеров уже потеряли совою актуальность. Появились новые сплавы, применение которым может позволить достичь необходимых требований без сильного изменения стоимости агрегатов.

Согласно ГОСТ 12483-67 плунжеры в большинстве случаев выполняются коваными из углеродистой стали марки 50 или из легированных сталей марок 80ХН3В, 5ХНВ, 38ХГН и 35ХНВ [3].

Сталь 34ХН3М, аналог стали 35ХНВ. Важным аспектом является влияние легирующих элементов на свойства стали. Основными легирующими элементами являются хром, никель и вольфрам. Особого внимания заслуживает последний.

Вольфрам довольно часто рассматривают совместно с молибденом. Действие этих легирующих элементов в сталях примерно одинаково. Вольфрам и молибден улучшают дисперсионное твердение сталей, что увеличивает их теплостойкость,

особенно при длительной работе с повышенными температурами. Хотя стоит более внимательно рассмотреть вопрос необходимости высокой теплостойкости для конкретной детали. Важной характеристикой является высокая поверхностная твердость. Причиной этому – формирование интерметаллидных соединений Fe_2W и Fe_2Mo_3, которые способствуют последующему появлению специальных карбидов (чаще – хрома и ванадия). Поэтому часто, совместно с вольфрамом и молибденом стали легируют также и этими металлами [4]. Это довольно эффективно для сталей, содержащих 0,3–0,4% углерода. Именно этим объясняется преимущественное применение сталей, содержащих вольфрам и молибден, для производства ответственных деталей машин, работающих при сложных, резко циклических нагрузках, к которым относится и плунжер. Наличие рассматриваемых легирующих компонентов улучшает закаливаемость сталей и способствует большей устойчивости изделий, изготовленных из них.

Имеются и отрицательные стороны избыточного легирования данными металлами. Например, повышение концентрации молибдена более 3% способствует обезуглероживанию стали при нагреве, что становится причиной хрупкого разрушения (особенно, если в составе такой стали присутствует в увеличенном количестве кремний более 2%). Предельное содержание вольфрама в стали 10-12% связано, главным образом, с резким повышением стоимости готового продукта.

Содержание молибдена в стали 34ХН3М не превышает 1%, что не может негативно сказаться на эксплуатации плунжера, а, напротив, в сочетании с никелем обеспечит более качественные параметры.

Термическая обработка стали 34ХН3М состоит из закалки и высокого отпуска. Закалка проводится при температуре 860 °С с охлаждением в масле. Время выдержки подбирается в зависимости от размеров детали и соответствует времени полного прогрева. Отпуск проводится при температуре 640 °С [6].

После закалки в структуре получается мартенсит, карбиды и некоторое количество остаточного аустенита. Такая структура обеспечит более высокую прочность и твердость стали. Высокий отпуск способствует достижению оптимального сочетания прочностных и пластичных свойств [5]. Твердость делали после термической обработки составит 290-310 НВ, а предел выносливости достигнет 980 МПа. При таких свойствах снизится истирание при работе в абразивных средах, и повысится выносливость детали.

Таким образом, замена материала и выбор оптимального режима термообработки плунжера позволит увеличить ресурс работы плунжерного насоса.

Данная работа выполнена под руководством доцента Сивенкова А.В.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бурданов В.Н.* Непрерывное дозирование жидкости насосами возвратно-поступательного действия. - СПб.: Геликон Плюс, 2012. – 224 с.
2. *Севастьянов А.В.* Технологии и оборудование для отбора попутного нефтяного газа из скважины и его утилизации / А.В. Севастьянов. – СПб.: Недра, 2017. – 176 с.
3. Марочник сталей и сплавов. 2-е изд., доп. и испр. // А.С. Зубченко, М.М. Колосков, Ю.В. Каширский и др. Под общей ред. А.С. Зубченко. – М.: Машиностроение, 2003. – 784 с.
4. Конструкционные материалы: Справочник / Б.Н. Арзамасов [и др.]. Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1990. – 688 с.
5. Металлография железа: Справ. изд. пер. с нем. / Н. Лямблер [и др.]. – М.: Металлургия, 1985. - 248 с.
6. Термомеханическая обработка стали / М.Л. Бернштейн, В.А. Займовский, Л.М. Капуткина; Под ред. М. Л. Бернштейна. - М.: Металлургия, 1983. - 480 с.

УДК 678.073

ЖИГАЙЛОВА Д.А.
Санкт-Петербургский горный университет

УЛУЧШЕНИЕ РАБОТЫ МЕМБРАННЫХ НАСОСОВ В УСЛОВИЯХ РАДИОАКТИВНЫХ СРЕД ПОДБОРОМ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. В данной работе приведен вариант решения проблемы подбора материала для мембран насосов, работающих в условиях радиоактивных химических веществ.
Изучены особенности условий работы детали, в связи с которыми выбран материал, обладающий необходимыми свойствами. Также приведен способ повышения свойств выбранного материала, а именно добавление наполнителя, и обосновано его количественное содержание в основном материале.

Ключевые слова: мембранный насос, политетрафторэтилен, фторопласт-4, агрессивная среда, полимер.

ZHIGAILOVA D.A.
Saint-Petersburg Mining University

IMPROVING THE PERFORMANCE OF MEMBRANE PUMPS IN RADIOACTIVE ENVIRONMENTS BY SELECTING POLYMER MATERIALS

Abstract. This paper presents a solution to the problem of selecting the material for the membranes of pumps operating under conditions of radioactive chemicals.
The features of the working conditions of the part, in connection with which the material with the necessary properties is selected, are studied. The method of increasing the properties of the selected material, namely the addition of filler, is also given, and its quantitative content in the main material is justified.

Keywords: membrane pumps, polytetrafluoroethylene, fluoroplast-4, aggressive environment, polymer.

Ранее на предприятии использовались насосы с металлическими мембранами, однако в новых условиях работы с радиоактивными химическими веществами требуется увеличить ресурс насосов. Так как наиболее слабым местом оказывается мембрана, которая быстро выходит из строя, было решено подобрать подходящий полимерный материал для увеличения срока её службы.

Среди современных полимерных материалов, которые могут применяться в сложных условиях эксплуатации, наиболее перспективным является фторопласт-4, или политетрафторэтилен (ПТФЭ). Данный материал обладает уникальной химической инертностью, высокой термической стойкостью, низкой адгезионной способностью и низким коэффициентом трения [1]. Поэтому ПТФЭ может быть выбран для работы с агрессивными радиоактивными химическими средами.

По своим эксплуатационным свойствам в данном применении ПТФЭ превосходит стали и сплавы, однако имеются некоторые недостатки, устранение которых было бы выгодно для предприятия. Первым недостатком является повышенная ползучесть при длительном воздействии сжимающей нагрузки, что ограничивает ресурс работы и возможность его более широкого применения [2]. Второй недостаток связан с низкой износостойкостью, даже при очень малом коэффициенте трения [3].

Устранить указанные недостатки возможно с помощью метода модифицирования, который позволяет создавать композиционные материалы путем введения в ПТФЭ мелкодисперсных наполнителей, таких как: графит, кокс, оксиды металлов, углеродное волокно и другие [4].

Учитывая особенности эксплуатации, а именно агрессивность среды, можно выделить наиболее подходящие наполнители. В данном случае - углеродные волокна [5].

Углеродные волокна обладают низким коэффициентом трения, высокой прочностью и теплостойкостью, химической инертностью тепло- и электропроводностью [6]. Введение в композиционные материалы на основе ПТФЭ прошедших механическую активацию углеродных волокон положительно сказывается на свойствах материалов [7]. Имеющиеся данные о влиянии содержания углеродных волокон в ПТФЭ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-механические характеристики ПКМ при растяжении и скорость массового изнашивания [8]

Химический состав	Предел прочности на растяжение, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Модуль упругости, МПа	Скорость массового изнашивания, мг/ч
ПТФЭ	19,63	304,25	468,96	114,90
ПТФЭ + УВ 1мас.%	20,72	344,74	621,68	0,39
ПТФЭ + УВ 3мас.%	22,93	377,76	628,29	0,33
ПТФЭ + УВ 5мас.%	17,14	251,29	654,58	0,59

Из данных табл. 1 видно, что при добавлении в ПТФЭ углеродных волокон (использовались углеродные волокна марки УВИС-АК-П) в количестве 1-3 мас.% происходит повышение модуля упругости на 17-24%, а также повышение других характеристик. Однако при повышении содержания углеродных волокон до 5 мас.% приводит к снижению деформационно-прочностных характеристик материала, что связано с повышением жесткости ПКМ.

Также можно отметить, что модификация ПТФЭ углеродными волокнами повышает износостойкость в 195-350 раз. Наибольшая износостойкость наблюдается при содержании УВ 3 мас.%. Так как у этих же композитов наблюдалось и максимальное улучшение деформационно-прочностных характеристик, можно предположить, что введение углеродного волокна в количестве 3 мас.% приводит к формированию более упорядоченной структуры, что обеспечивает высокие показатели износостойкости.

Заключение

На основании анализа данных об изменении свойств полимеров в зависимости от содержания упрочняющего наполнителя в виде углеродных волокон показано, что получение необходимых эксплуатационных свойств в условиях работы с радиоактивными химическими веществами может обеспечить модификация ПТФЭ углеродными волокнами марки УВИС-АК-П с концентрацией 3 мас.%.

Данная работа выполнена под руководством доцента Сивенкова А.В.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кириллина Ю.В.* Структурные исследования полимерных композиционных материалов на основе политетрафторэтилена и серпентинита // Всероссийский журнал научных публикаций. – 2011. – № 4 (5). – 7 с.
2. *Shelestova V.A.* A Fluoropolymer Coating on Carbon Fibers Improves Their Adhesive Interaction with PTFE Matrix / V.A. Shelestova, P.N. Grakovich, S.F. Zhandarov // Composite Interfaces. – 2011 (18) – 5.– P. 419-440.
3. *Струк В.А.* Машиностроительные фторокомпозиты: структура, технология, применение. - Гродно: Изд-во ГрГУ им. Янки Купалы, 2012. – 339 с.
4. *Ю-Винг Май.* Полимерные нанокомпозиты / Май Ю-Винг, Ю. Жонг-Жен. – М.: Техносфера, 2011. – 688 с.
5. *Кропотин О.В.* Влияние углеродных модификаторов на структуру и износостойкость полимерных нанокомпозитов на основе политетрафторэтилена / О.В. Кропотин [и др.] // Журнал технической физики. – 2014. – Т. 84. №.5. – С. 66-70.
6. *Жанг М.К.* Износостойкие полимерные нанокомпозиты: методы получения и свойства / М.К. Жанг, М.Ж. Ронг, К. Фридрих // Полимерные нано-композиты. - М.: Техносфера, 2011. - С. 645-687.
7. *Смелов А.В.* Механические свойства и трибологические возможности модифицированного политетрафторэтилена / Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6.
8. *Маркова М.А.* Исследование композитов на основе ПТФЭ и углеродных наполнителей / М.А. Маркова, М.Е. Готовцева // Вестник науки и образования Северо-Запада России. -2017. - №1.

УДК 621.398

ЗАБУНОВ А.С.
Санкт-Петербургский горный университет

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ ПРИ РАБОТАХ В МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОМ СЕКТОРЕ

Аннотация. В статье рассматривается возможность и целесообразность применения концепции распределенной генерации от альтернативных и возобновляемых источников энергии при работах в минерально-сырьевом секторе. Проведен анализ основных параметров и дана классификация основных типов альтернативных и возобновляемых источников энергии, включая ветрогенераторы, солнечные панели и микротурбинные установки, работающие на природном и попутном нефтяном газе.

Ключевые слова: распределенная генерация; альтернативный; возобновляемый; автономный; минерально-сырьевой.

ZABUNOV A.S.
Saint-Petersburg Mining University

USAGE OF THE CONCEPT OF DISTRIBUTED GENERATION FOR WORKING IN MINERAL RESOURCE SECTOR

Abstract. The article considers the possibility and expediency of usage of the concept of distributed generation from alternative and renewable energy sources for working in the mineral resource sector. The analysis of the main parameters is carried out and the classification of the main types of alternative and renewable energy sources is given, including wind generators, solar panels and microturbines operating on natural and associated petroleum gas.

Keywords: distributed generation; alternative; renewable; autonomous; mineral.

В наши дни все большее распространение получает концепция распределенной выработки электроэнергии. Данная концепция подразумевает строительство дополнительных источников электроэнергии в непосредственной близости от потребителей. При этом, как правило, потребитель не отключается от общей сети электроснабжения [1, 2]. В данной работе рассматривается применение следующих дополнительных источников энергообеспечения: солнечных панелей, ветрогенераторов и микротурбинных установок, работающих на природном или попутном нефтяном газе.

В условиях работ в минерально-сырьевом секторе представляется целесообразным и эффективным использование технологий распределенной генерации в связи со следующими причинами: удаленность от централизованных энергосистем, отсутствие необходимости в большой мощности по сравнению с другими отраслями промышленности, постоянное перемещение фронта работ, сложность доставки топливных ресурсов. При этом необходимо рассмотреть и классифицировать основные виды источников распределенной генерации с точки зрения возможности их применения работ [3,4].

Солнечные панели разделяются на несколько категорий по следующим параметрам и факторам:

- Типу устройства: жесткие фотоэлектрические модули, гибкие солнечные панели.

Жесткие фотоэлектрические модули являются более старыми и классическими вариантами солнечных панелей. Их преимуществом можно назвать простоту конструкции и стоимость, к преимуществам гибких солнечных панелей можно отнести универсальность, размер, вес, удобство в эксплуатации, но они имеют меньшую производительность по сравнению с жесткими фотоэлектрическими модулями [5].

- Типу рабочего фотоэлектрического слоя: кремниевые (монокристаллические, поликристаллические, аморфные, концентраторные), полимерные, органические.

Кремниевые фотоэлектрические модули подразделяются на монокристаллические, поликристаллические и солнечные панели из аморфного кремния. Монокристаллические кремниевые панели имеют ряд достоинств, например, высокий КПД, компактность, долговечность, но они чувствительны к загрязнению и имеют более высокую стоимость. Поликристаллические солнечные панели имеют лучшие показатели в условиях рассеянного света, меньшую, чем у монокристаллических панелей стоимость, однако им необходимо большее пространство для размещения и имеют меньший КПД.

Полимерные солнечные батареи – это довольно новая технология, она была разработана в 1992 году. Они легки по сравнению с кремниевыми фотоэлектрическими модулями, гибки, экологичны, дешевле кремниевых фотоэлектрических модулей, но имеют серьезный недостаток – значительный эффект деградации, а также довольно низкий КПД [6-8].

Органические солнечные батареи в отличие от технологии, используемой при изготовлении кремниевых фотоэлектрических модулей, используют углерод в качестве сырья и отличаются своей структурной гибкостью, что делает их пригодными для использования на самых разных поверхностях [9].

Ветрогенераторы подразделяются на установки с вертикальной осью вращения (с ротором Савониуса, с ортогональным ротором (Дарье, геликоидным, многолопастным)) и с горизонтальной осью вращения (однолопастные, двухлопастные, трехлопастные и многолопастные) [10].

Установка с ротором Савониуса обладает высоким пусковым крутящим моментом и способен эффективно работать при низкой скорости ветра, но имеет низкий КПД и высокую материалоемкость. Ветрогенератору с ротором Дарье не требуется устройство ориентации, и он прост в изготовлении, а также не настолько шумен как установки с горизонтальной осью вращения. Установки с геликоидным ротором выдерживают высокие эксплуатационные нагрузки и имеют длительный срок службы, но имеют такие серьезные недостатки, как повышенный шум, сложная технология изготовления и высокая цена. Ветрогенераторы с многолопастным ротором могут работать с низкими скоростями ветра и имеют высокий КПД, но они металлоемки и имеют высокую стоимость [11-14].

Микротрубинные установки разделяются на: генерирующие (только электроэнергию), когенерирующие (тепло и электроэнергию) и тригенерирующие (тепло, холод, электроэнергия). Генерирующие микротурбинные установки являются экологичными, надежными и имеют низкие эксплуатационные затраты, низкий уровень шума, однако наиболее эффективны только в режиме постоянной эксплуатации и, в отличие от солнечных и ветряных электростанций, для их работы необходимо топливо. Когенерирующими микротурбинными установками называются установки, в которых одновременно генерируются два вида энергии – электроэнергия и тепловая энергия, которую получают за счет утилизации тепловых потерь газовой микротурбины. Такой тип микротурбин также экологичен, имеет низкий уровень шума и обладает высоким коэффициентом использования топлива (до 85%). Тригенерирующие микротурбинные установки – это самое современное и эффективное технологическое решение среди всех микротурбинных установок, которое базируется на совместном производстве и обеспечении потребителя тремя видами энергетических ресурсов: электроэнергией,

тепловой энергией и холодом для технологических нужд [15-16].

Также в данной работе была проведена классификация источников питания по мощностям, представленная на рис. 1. Солнечные панели имеют следующий диапазон мощностей: от 30 до 390 Вт, в то время как микротурбинные установки могут вырабатывать от 12 до 1000 кВт. Но самым широким диапазоном мощностей обладают ветрогенераторы: от 0,5 до 7500 кВт [7,17].

Рисунок 1 - Классификация технологий распределенной генерации

С учетом рассмотренных типов источников распределенной генерации, их достоинств и недостатков, а также условий ведения работ в минерально-сырьевом секторе и требований по потребляемой мощности необходимо производить обоснованный выбор структуры системы автономного электроснабжения, ее режима работы, состава источников [18,19].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Налбандян Г.Г.* Ключевые факторы эффективного применения технологий распределенной генерации в промышленности / Г.Г. Налбандян, С.С. Жолнерчик // Стратегические решения и риск-менеджмент. - 2018. - №1. - С. 80-87.
2. *Трачук А.В.* Технологии распределенной генерации: эмпирические оценки факторов применения / А.В. Трачук, Н.В. Линдер // Стратегические решения и риск-менеджмент. - 2018. - №1. - С. 32-48.
3. *Frolov, V.Ya., Ivanov, D.V.* Calculation of a plasma composition and its thermophysical properties in cases of maintaining or quenching of electric arcs 2018 Journal of Physics: Conference Series, 1058(1), 012040.

4. *Frolov, V.Y., Ivanov, D.V., Belsky, R.A.* Increasing of operation security and of breaking capacity of surge arresters. Proceedings of the 2017 IEEE Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference, ElConRus 2017 7910861, с. 1520-1523.
5. *Казанский А.Г.* Тонкопленочные кремниевые солнечные элементы на гибких подложках // РЭНСИТ. - 2015. – Т.7. №1. - С. 17-24.
6. *Алешин А.Н.* Солнечные элементы на основе полимерных и композитных (органика неорганика) материалов // Инновации. - 2012. - №7. - С. 96-108.
7. *Сибикин Ю.Д.* Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. – М.: КНОРУС, 2010. – 232 с.
8. *Фаренбрух А.* Солнечные элементы: Теория и эксперимент / А. Фаренбрух, Р. Бьюб. Пер. с англ. под ред. М.М. Колтуна. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 280 с.
9. *Frolov, V.Y., Neelov, A.A., Zhiligotov, R.I., Bystrov, A.V.* Identification of the protection parameters of the local electrical network taking into account the detuning of the inrush current Proceedings of the 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus, 2018-January, с. 626-628.
10. *Грибач Ю.С.* Ветер – альтернативный источник энергии / Ю.С. Грибач, О.О. Егорычев, Е.В. Кургузова // Силовое и энергетическое оборудование. Автономные системы. - 2019. -Т. 2. Вып. 1. - С. 40-49.
11. *Дайчман Р.А.* Выбор ветроустановок для систем автономного электроснабжения // Молодой ученый. - 2015. - №24. - С. 117-121.
12. *Чижма С.Н.* Критерии выбора типа ветроустановок для мобильных ветро-солнечных электростанций / С.Н. Чижма, С.В. Молчанов, А.И. Захаров // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Физико-математические и технические науки. - 2018. - №1. - С. 53-62.
13. *Хлюпин П.А.* Разработки алгоритма выбора автономной системы электроснабжения на основе ветрогенераторных установок / П.А. Хлюпин, Г.Н. Испулаева // Силовое и энергетическое оборудование. Автономные системы. - 2019. - Т. 2. Вып. 1. - С. 8-16.
14. *Лятхер В.М.* Ортогональная сбалансированная ветроэнергетическая установка малой мощности / В.М. Лятхер, И.М. Кирпичникова, Е.В. Соломин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. - 2013. - Т. 13. №1. - С. 63-69.
15. *Рассохин В.А.* Основные направления развития микротурбинных технологий в России и за рубежом / В.А. Рассохин, Н.А. Забелин, Ю.В. Матвеев // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. - 2011. - №4. - С. 41-51.
16. Микротурбинные установки Capstone.
URL: http://promprivod.ru/useruploads/files/bpc/capstone_broshure5.pdf.
17. *SimonP. Philipps, Andreas W. Bett, Kelsey Horowitz, Dr. Sarah Kurtz* Current status of concentrator photovoltaic (CPV) technology 1.3 // Fraunhofer ISE/NREL. 2017. URL: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/cpv-report-ise-nrel.pdf
18. *Абрамович Б.Н., Полищук В.В., Сычев Ю.А.* Способ компенсации высших гармоник и коррекции коэффициента мощности сети // Патент на изобретение RU 2354025 C1. 2008.
19. *Абрамович Б.Н.* Проблема обеспечения электромагнитной совместимости конденсаторных установок и активных фильтров в сетях нефтепромыслов / Б.Н. Абрамович [и др.] // Нефтяное хозяйство. - 2010. - № 4. - С. 112-114.

УДК 621.314

ЗИМИН Р.Ю.
Санкт-Петербургский горный университет

ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНОГО ФИЛЬТРОКОМПЕНСИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ АКТИВНЫХ И ПАССИВНЫХ ФИЛЬТРОВ С ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫМ ПРИВОДОМ В УСЛОВИЯХ ПРЕДПРИЯТИЙ НЕФТЕДОБЫЧИ

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы применения гибридного фильтрокомпенсирующего устройства в условиях нефтедобывающих предприятий.

Ключевые слова: нефтедобывающее предприятие, активные фильтры, пассивные фильтры, гибридное фильтрокомпенсирующее устройство.

ZIMIN R.YU.
Saint-Petersburg Mining University,

APPLICATION OF A HYBRID FILTER COMPENSATING DEVICE BASED ON ACTIVE AND PASSIVE FILTERS WITH A FREQUENCY-CONTROLLED DRIVE IN THE CONDITIONS OF OIL PRODUCTION ENTERPRISES

Abstract. The article deals with the application of hybrid filter compensating device in the conditions of oil producing enterprises.

Keywords: oil production enterprise, active filters, passive filters, hybrid filter compensating device.

Нелинейные искажения оказывают неблагоприятное влияние на режимы работы основного и вспомогательного технического и технологического электрооборудования, а также устройств защиты. В результате возникают высшие гармонические составляющие (ВГС), ухудшающие электроэнергетические показатели качества, которые в свою очередь снижают надежность функционирования системы электроснабжения предприятий нефтедобычи и сокращают срок службы электрооборудования из-за дополнительных потерь, нагрева и ускоренного старения изоляции электрооборудования.

Для снижения величины коэффициента несинусоидальности необходимо применять различные специализированные электротехнические средства и решения. Основными устройствами для снижения уровня ВГС в электрических сетях являются:

Пассивный фильтр (ПФ) представляет собой последовательно соединённые емкость (C) и индуктивность (L), настроенные на устранение или уменьшение величины гармонической составляющей, находящейся в каждой фазе трехфазной системы электроснабжения.

Фильтр обеспечивает компенсацию реактивной мощности и настраивается на частоту устранения необходимой гармонической составляющей. ПФ подбираются для каждого конкретного случая. Они экономичны, их легко монтировать и вводить в эксплуатацию [4]. Активные фильтры используют для решения большинства комплексных задач по повышению качества электроэнергии — это и фильтрация гармоник, их подавление практически вплоть до полной компенсации, и управление реактивной мощностью для коррекции $cos\varphi$ и регулирования напряжения, и балансирование несимметрии нагрузки, и снижение дозы фликера [1].

Помимо типичных структур коррекции синусоидальных кривых тока и напряжения существуют и другие – гибридные структуры компенсации ВГС. [3] Для комплексной оценки эффективности компенсации высших гармоник гибридными системами коррекции разработана математическая имитационная модель электрической сети с распределенной генерацией и нелинейной нагрузкой (НН) в виде частотно-регулированного электропривода. [2]

Разработанная структура гибридного электротехнического комплекса с общим звеном постоянного тока представлена на схеме (рис. 1).

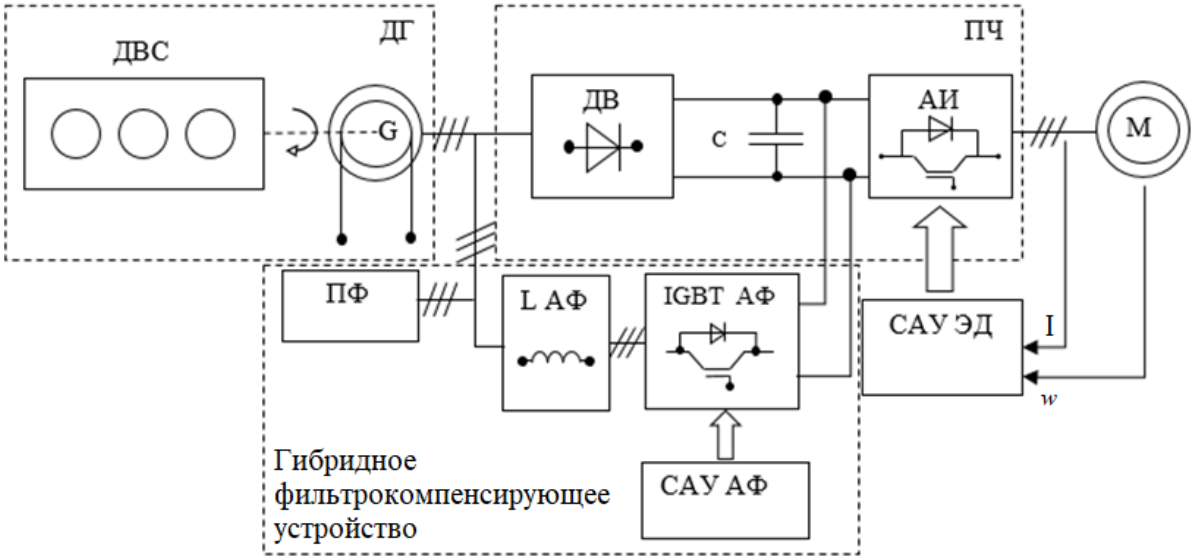


Рисунок 1 - Структурная схема гибридного электротехнического комплекса с общим звеном постоянного тока

IGBT АФ – инвертор активного фильтра; САУ АФ – система автоматического управления активным фильтром; L АФ – выходной дроссель для активного фильтра; ПФ – высокочастотный емкостной пассивный фильтр.

Разработанное гибридное фильтрокомпенсиурющее устройство (ГФУ) имеет ряд значимых и отличительных особенностей. Входящий в его состав активный фильтр, подключенный с состав звена постоянного тока преобразователя частоты электропривода значительно удешевляет стоимость гибридного устройства компенсации по сравнению с имеющимися аналогами и входящим в них собственный емкостной элемент. А также, в разработанном устройстве компенсации, адаптированным к частотно-регулируемому электроприводу нет необходимости предварительной зарядки конденсатора [5].

Помимо активного фильтрокомпенсирующего устройства в составе ГФУ дополнительно входит пассивный высокочастотный емкостной фильтр, что служит компенсацией ВГС высокого порядка.

В результате разработки и анализа имитационной модели гибридного электротехнический комплекс с общим звеном постоянного тока, оптимизированного под режимы работы частотно-регулируемого электропривода с векторной системой управления, как наиболее распространенной в условиях большинства предприятиях нефтедобычи было установлено значительное повышение качества электроэнергии.

Предложенное техническое средство обеспечивает сокращение высших гармонических составляющих, как по току, так и по напряжению, обеспечивает полную компенсацию реактивной мощности, потребляемой из сети, дает возможность эффективно управлять потоками энергии и обеспечивает электромагнитную

совместимость. ГФУ является многофункциональным устройством, которое не только повышает качество электрической энергии, но и обеспечивает энергоэффективные режимы работы электроприводов и обеспечивает бесперебойное электроснабжение ответственных потребителей при возникновении аварийных режимов на объектах нефтедобычи, что позволяет минимизировать ущерб от простоев технологического цикла.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамович Б.Н.* Методы компенсации провалов и искажений напряжения в электрических сетях нефтедобывающих предприятий / Б.Н. Абрамович [и др.] // Нефтяное хозяйство. - 2014. - № 8. - С. 110-112.
2. *Абрамович Б.Н.* О компенсации высших гармоник тока и напряжения, создаваемых источником бесперебойного питания / Б.Н. Абрамович [и др.] // Нефтяное хозяйство. - 2013. - № 10. - С. 126-127.
3. *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. - № 1. - С. 45-54.
4. *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. - № 11. - С. 50-57.
5. *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. - 2015. - № 8. - С. 49-53.
6. *Розанов Ю.К.* Гибридные фильтры для снижения несинусоидальности тока и напряжения в системах электроснабжения / Ю.К. Розанов, Р.П. Гринберг // Электротехника. - 2006. - № 10. - С. 55.
7. *Salmeron P.* Improvement of the electric power quality using series active and shunt passive filters / P. Salmeron, S.P. Litran // IEEE transactions on power delivery 25-2 (April). – 2010. - 1058-1067.
8. *Мещеряков В.Н., Безденежных Д.В., Хабибулин М.М., Мещерякова О.В.* Устройство компенсации высших гармоник, адаптированное к электроприводу переменного тока // Патент Российской Федерации № 2514439. 2012.
9. *Абрамович Б.Н., Сычев Ю.А., Зимин Р.Ю.* Устройство гибридной компенсации высших гармоник // Патент на полезную модель Российской Федерации № 185875. 2018.

УДК 621

КАЗАКОВ П.А.
Санкт-Петербургский горный университет

ВЛИЯНИЕ СОСТАВОВ СПЛАВОВ НА СВОЙСТВА МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ИМПЛАНТОВ

Аннотация. Между керамикой и оксидной пленкой металла образуется прочная химическая связь. Во время проведения обжига керамика, нагретая до температуры своего стеклования, окажется в текучем состоянии и сможет сплавляться с оксидами, находящимися на поверхности металла, за счет их миграции в керамику. При достаточно прочной связи между металлом и керамикой вредное влияние микротрещин на внутренней поверхности керамики устраняется, так как благодаря своей высокой прочности металл служит барьером для развития трещин.

Ключевые слова: металлокерамические изделия; локальная адгезия; холодная сварка; деформация и разрушения поверхности металла; микромеханические сцепления; макроструктура; пескоструйная обработка.

KAZAKOV P.A.
Saint-Petersburg Mining University

EFFECT OF ALLOY COMPOSITIONS ON PROPERTIES CERAMIC-METAL IMPLANTS

Abstract. A strong chemical bond is formed between the ceramic and the metal oxide film. During the firing, the ceramic heated to its glass transition temperature will be in a fluid state and will be able to fuse with the oxides on the metal surface by migrating them into the ceramic. With a sufficiently strong bond between the metal and the ceramic, the harmful effect of microcracks on the inner surface of the ceramic is eliminated because, due to its high strength, the metal serves as a barrier to crack development.

Keywords: ceramic-metal products; local adhesion; cold welding; deformations and destructions of a surface of metal; micromechanical couplings; macrostructure; sandblasting.

Как и в любом композиционном материале, в металлокерамических изделиях присутствует адгезия - сила, которая соединяет два разнородных материала, приведенных в близкий контакт. Адгезия отличается от когезии, которая является притяжением между одинаковыми атомами или молекулами в пределах одного вещества. На атомном уровне все поверхности являются неровными (шероховатыми) [1, 2]. Это означает, что если их привести в контакт, то они будут соприкасаться только выступами на поверхностях (рис. 1). В этих точках может возникать очень высокое давление, в результате которого, при отсутствии загрязняющих веществ, может появиться эффект, называемый локальной адгезией или холодной сваркой. Если мы попытаемся переместить путем скольжения одну поверхность по отношению к другой, то появится сопротивление, которое называется трением. Причиной трения является необходимость сдвига или разрыва связей, образованных локальной адгезии. Обычно прочность локальной адгезии настолько высока, что процесс разрыва протекает не по границе раздела между выступами поверхности, а внутри твердого вещества. Этим можно объяснить такое явление, как стирание материала в результате трения (фрикционный износ) [1, 3].

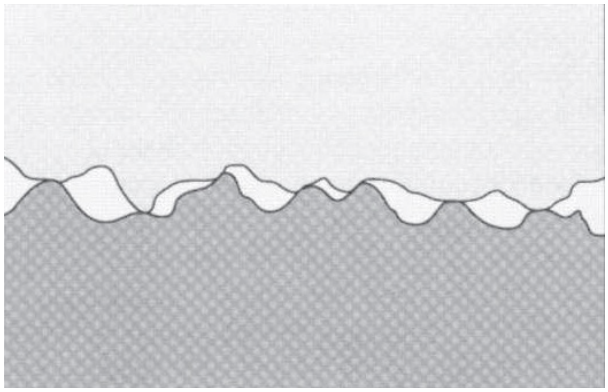


Рисунок 1 - Точечный контакт двух твердых поверхностей на микроскопическом уровне

Несмотря на то, что силы трения, возникшие в результате локальной адгезии, могут быть достаточно высокими, определить адгезионную силу в направлении нормали, т.е. силу, перпендикулярную к поверхности материала, обычно невозможно. Это объясняется возникновением напряжений упругости (упругих напряжений) материала, действующих в нормальном направлении и исчезающих сразу же после снятия нагрузки на материал. Преимуществом грубой или шероховатой поверхности является увеличение площади для создания адгезионного соединения, однако есть и недостаток у такой поверхности - возможность захвата воздуха [8]. Захват воздуха может значительно снизить эффективное пространство для склеивания, в результате чего произойдет ослабление связи. Составными элементами неровностей поверхности являются трещины и щели, поэтому одним из требований, предъявляемых к адгезиву, является его способность затекать в углубления на поверхности субстрата [4].

Высоковязкие адгезивы склонны захватывать воздух, поскольку из-за своей плотности они не могут затекать в трещины и щели, а могут только образовывать над ними «мосты». При отсутствии воздуха адгезив будет проникать в трещины и щели за счет действия капиллярных сил. Для легкого проникновения в них адгезив должен обладать высоким поверхностным натяжением, что указывает на высокое капиллярное притяжение. Для того, чтобы наглядно представить себе это явление, можно погрузить капилляры (трубки с очень малым диаметром отверстия) в жидкости с разным поверхностным натяжением, в результате чего обнаружится, что чем выше будет поверхностное натяжение жидкости, тем выше поднимется жидкость в капилляре. Капиллярным силам противодействует давление воздуха, захваченного адгезивом, и силы сопротивления, возникшие из-за вязкости адгезива. Однако поверхностное натяжение жидкости должно быть достаточно низким для того, чтобы жидкость могла эффективно смачивать субстрат. Следовательно, поверхностное натяжение идеального адгезива должно быть чуть ниже поверхностной энергии твердого субстрата. При соблюдении этого условия, шероховатость поверхности может иметь положительное значение для улучшения прочности адгезии. Площадь поверхности шероховатого субстрата выше, чем гладкого и на большей площади поверхности сможет образоваться большее число связей. Если неровности поверхности будут иметь определенное строение (морфологию), например, на поверхности субстрата будут присутствовать микроскопические поднутрения, то прочность адгезии может усилиться за счет микромеханического сцепления [13]. Коэффициент термического расширения большинства керамических материалов намного ниже, чем у металлов. При охлаждении металл сжимается быстрее, чем керамика, так как его коэффициент термического расширения выше. Это приводит к тому, что керамика остается в состоянии сжатия. Следует ли из этого, что, чем выше термическая несогласованность между керамикой и сплавом, тем лучше, поскольку керамика будет находиться под действием высоких напряжений сжатия? Нет, фактически это не так. Термическое несоответствие между керамикой и металлом не

должно быть слишком высоким, так как высокие напряжения в системе могут вызвать появление трещин или разрушение самой керамики, или стать причиной разрушения связи на поверхности раздела между керамикой и металлом [6, 11].

Сейчас уже существуют неоспоримые доказательства того, что между керамикой и оксидной пленкой металла образуется прочная химическая связь [7]. Во время проведения обжига керамика, нагретая до температуры своего стеклования, окажется в текучем состоянии и сможет сплавляться с оксидами, находящимися на поверхности металла, за счет их миграции в керамику. Что же касается золотых сплавов, то в их составы вводят небольшое количество элементов, способных образовывать оксиды, поскольку само золото является химически инертным. Благодаря этому, прочность связи между металлом и керамикой многократно увеличивается. Этот эффект подтверждает важное значение присутствия оксидов на поверхности металла.

Когда керамика затекает в микроскопические поднутрения на поверхности металла возникает механическая ретенция [7, 8]. Шероховатость поверхности металла часто повышают путем пескоструйной обработки металлических каркасов зубных протезов корундовым песком или шлифованием. Благодаря этим процедурам увеличивается количество участков механического зацепления керамики (рис. 2). Дополнительным преимуществом проведения этих двух процедур является создание очень чистой поверхности, способствующей смачиванию металла керамикой.

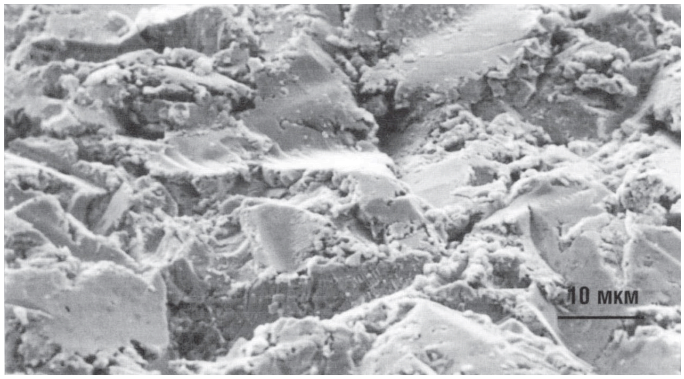


Рисунок 2 - Поверхность золотого сплава после пескоструйной обработки

Хорошая связь основана на тесном контакте между керамикой и металлическим каркасом, а любые загрязнения металла или керамики приведут к ухудшению качества связи. Перед нанесением керамики на поверхность металлического каркаса последний подвергают дегазации в вакуумной зуботехнической печи для того, чтобы обеспечить выгорание всех органических примесей и снизить образование пузырьков газа, которые в дальнейшем могут остаться на поверхности раздела. Керамику наносят на поверхность металла в процессе обжига, поэтому температура плавления металлического сплава должна быть выше температуры спекания керамики. Если температура обжига керамики приближается к температуре плавления металла, то может произойти, либо частичное расплавление металлического каркаса в тонких участках, либо его деформация [10, 11, 12].

Сплавы, используемые для изготовления протяженных мостовидных протезов, должны обладать высоким модулем упругости и высоким пределом текучести. Благодаря этому металлические каркасы отличаются высокой жесткостью, которая будет препятствовать появлению слишком высоких деформаций (несовместимых с керамическим покрытием) под действием функциональных нагрузок. Кроме того, низкая жесткость металлического каркаса может вызвать искривление его пришеечного края из-за разницы напряжений сжатия в металле и керамике, возникающих при охлаждении металлокерамического протеза.

Когда-то, для изготовления металлокерамических протезов предлагались только сплавы с высоким содержанием золота, и в связи с постоянным ростом цен на золото были разработаны новые сплавы различного состава: золото-палладиевые, палладиево-серебряные, никель-хром-молибденовые, а также технически чистый титан [4, 5].
Золото – дорогой благородный металл и стоимость металлокерамических изделий на его основе будет выше, чем у большинства аналогов. Однако же и качество данных изделий с точки зрения биосовместимости, долговечности и эстетики будет значительно выше.

Очевидным различием между золотыми сплавами для цельнолитых зубных протезов и сплавами для металлокерамики является отсутствие меди. Медь выведена из состава золотого металлокерамического сплава из-за того, что она снижает температуру его плавления [13]. Кроме того, медь склонна вступать в реакцию с керамикой, что приводит к появлению зеленоватой окраски керамического покрытия. Это является второй особенностью металлокерамических сплавов: компоненты сплава не должны вступать в те реакции с керамикой, которые приведут к ухудшению эстетического качества зубного протеза.

В сплавы с высоким содержанием золота добавляют платину и палладий, поскольку оба этих металла имеют высокую температуру плавления. Технологические характеристики Au-Pd сплавов и сплавов с высоким содержанием золота являются приблизительно одинаковыми с точки зрения литейных свойств, точности прилегания и устойчивости к коррозии [1, 3].

Однако существуют такие комбинации сплав-керамика, которые нельзя применять из-за отсутствия между ними термической согласованности. Преимуществом золотых сплавов является то, что они используется уже давно и, клиническими наблюдениями, доказана их высочайшая эффективность. Связь между керамикой и металлом считается очень прочной и надежной [12].

Главными недостатками сплавов с высоким содержанием золота являются: относительно низкая температура плавления, из-за которой они склонны к высокотемпературным деформациям; низкий модуль упругости. Толщина металлических каркасов, отлитых из сплавов с высоким содержанием золота, должна составлять не менее 0,5 мм, иначе такие каркасы будут непригодными для использования [9, 10].
В ситуациях, требующих ограничения препарирования, могут возникать проблемы, связанные с эстетикой, поскольку часто из-за необходимости замаскировать цвет металла, контуры керамического покрытия могут оказаться слишком выпуклыми [1]. С этой точки зрения использование палладиево-серебряных сплавов является более привлекательным.
Керамическое покрытие поверх металлического каркаса придаёт зубу дополнительную твёрдость и естественный внешний вид, при этом требуя весьма небольших финансовых затрат.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Борисова Л.Г.* Растровая электронная микроскопия в ходе исследования сложных рельефов поверхности / Л.Г. Борисова, В.О. Никитина // Инновации на транспорте и в машиностроении. Материалы IV Международной научно-практической конференции. - СПб.: НМСУ «Горный», 2016. - Том II. - С.61-62.
2. *Борисова Л.Г.* Проектирование специализированных элементов технологической оснастки в режиме интегрирования / Л.Г. Борисова, А.Е. Ефимов // Записки Горного института. – 2014. – Т. 209. – С. 23-26.
3. *Борисова Л.Г.* Интеграция конструкторско-технологических процедур в рамках сквозного проектирования // Инновационные системы планирования и управления на транспорте и в

машиностроении. Материалы II Международной научно-практической конференции. - СПб.: НМСУ «Горный», 2014. – Т. II. - С. 30-32.
4. *Михайлов А.В.* Рентгеноструктурный и рентгеноспектральный анализы в ходе исследований структуры кристаллических веществ / Л.Г. Борисова, А.В. Михайлов // Инновации на транспорте и в машиностроении. Материалы IV Международной научно-практической конференции. - СПб.: НМСУ «Горный», 2016. – Т. II. - С. 66-67.
5. *Борисова Л.Г.* Проектирование и реализация отдельных модулей - элементов разработанной структуры САПР // Инновации на транспорте и в машиностроении. Материалы IV Международной научно-практической конференции. - СПб.: НМСУ «Горный», 2016. – Т. II. - С. 9-12.
6. *Крукович В.В.* Изменение структур и свойств быстрорежущих сталей в результате легирования и сложной термической обработки / В.В. Крукович, Л.Г. Борисова // Научный журнал молодых ученых №1 «Scientific forum. Siberia». - Тюмень.: Изд-во «Вектор Бук», 2016. – Т. 2. - С.19-20.
7. *Борисова Л.Г.* Оценка износостойкости углеродистых и низколегированных сталей упрочненных цианированием // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2017. Материалы Международной научно-технической конференции. - СПб.: Изд-во ФГБОУ ВО СПГУ, 2017. - С. 310-313.
8. *Герасимова А.С.* Создание самозалечивающихся наноматериалов – одно из направлений в современном материаловедении / Л.Г. Борисова, А.С. Герасимова // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2017. Материалы Международной научно-технической конференции. - СПб.: Изд-во ФГБОУ ВО СПГУ, 2017. - С. 24.
9. *Кузнецов Н.А.* Технология термодиффузионного цинкования и его преимущества / Л.Г. Борисова, Н.А. Кузнецов // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2017. Материалы Международной научно-технической конференции. - СПб.: Изд-во ФГБОУ ВО СПГУ, 2017. - С. 54.
10. *Лугвищик А.С.* Перспективы развития нанотехнологий и создания новых наноматериалов / Л.Г. Борисова, А.С. Лугвищик // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2017. Материалы Международной научно-технической конференции. - СПб.: Изд-во ФГБОУ ВО СПГУ, 2017. - С. 58.
11. *Borisova L.G.* Methods of improvement of exploitation features of carbon and low-alloyed steels / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2017. - 87.
12. *Борисова Л.Г.* Комплексный метод исследования деформации и разрушения материалов // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2018. Материалы Международной научно-практической конференции. - СПб.: Санкт-Петербургский горный университет, 2018. - С. 47.
13. *Борисова Л.Г.* Особенности макроструктуры точных центробежнолитых заготовок / Л.Г. Борисова, Т.П. Горшкова // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2019. Материалы Международной научно-практической конференции. - СПб.: Санкт-Петербургский горный университет, 2019. - С. 82-85.

УДК 621.77

КЛОЧКОВ Д.А.
Санкт-Петербургский горный университет

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЦАПФ РОТОРА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПРИВОДА ПРОКАТНОГО СТАНА МЕТОДОМ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Аннотация. В статье рассмотрены проблемы возникновения задиров на цапфах роторов при эксплуатации электродвигателя. Предложено решение данной проблемы методом поверхностно пластического деформирования, а именно вибрационным накатыванием. Представлены результаты исследований по повышению износостойкости и противозадирной стойкости при применении данного метода обработки.

Ключевые слова: поверхностное пластическое деформирование; вибрационное накатывание; износостойкость.

KLOCHKOV D.A.
Saint-Petersburg Mining University

TECHNOLOGICAL ASSURANCE OF THE QUALITY AND WEAR RESISTANCE OF THE WORKING SURFACES OF THE AXLES OF THE ROTOR OF THE ELECTRIC MOTOR OF THE DRIVE OF THE ROLLING MILL BY THE METHOD OF SURFACE PLASTIC DEFORMATION

Abstract. The article deals with the problems of the occurrence of bullying on the rotor trunnions during operation of the electric motor. The solution of this problem is proposed by the method of surface plastic deformation, namely by vibration rolling. The results of research on increasing wear resistance and extreme pressure resistance when using this processing method are presented.

Keywords: superficial plastic deformation; vibration rolling; sliding strength.

Одной из важнейших задач технологии машиностроения, в том числе и трибологии, является проблема повышение качества, износостойкости и безотказности деталей машин и узлов трения, изготавливаемых из высокопрочных конструкционных сталей. Высокопрочные стали применяются при изготовлении изделий электрических машин и тяжелонагруженных ответственных деталей, для которых важно уменьшение массы при сохранении высокой прочности [1]. К таким деталям относятся валы роторов, работающие при высоких статических нагрузках. При этом повышается вероятность нарушения нормальных условий трения, что в итоге сказывается на увеличении износа рабочих поверхностей деталей, а именно цапф роторов, что при дальнейшей эксплуатации может привести к образованию задиров и нарушению безотказной работы электрической машины [2].

Широкое применение для повышения износостойки деталей из высокопрочных сталей получили методы поверхностного пластического деформирования (ППД). Данные методы позволяют обеспечить высокое качество поверхностного слоя при сравнительно небольших затратах на их реализацию [3, 4]. Однако эффективность применения ППД, а именно вибрационного накатывания, для повышения

износостойкости цапф роторов практически не изучена. В связи с этим необходимо проведение дополнительных теоретических и экспериментальных исследований, основанных на комплексном подходе к обеспечению износостойкости. Так же необходимо провести аналитические расчеты режимов обработки цапф ротора.

Триботехническая система (ТТС) представляет собой сложную термодинамическую образующуюся из нескольких трибосопряжений и узлов трения, а также промежуточной среды и части окружающей среды [5]. В данной статье рассматривается триботехническая система «вал ротора-опоры скольжения» (рис. 1).

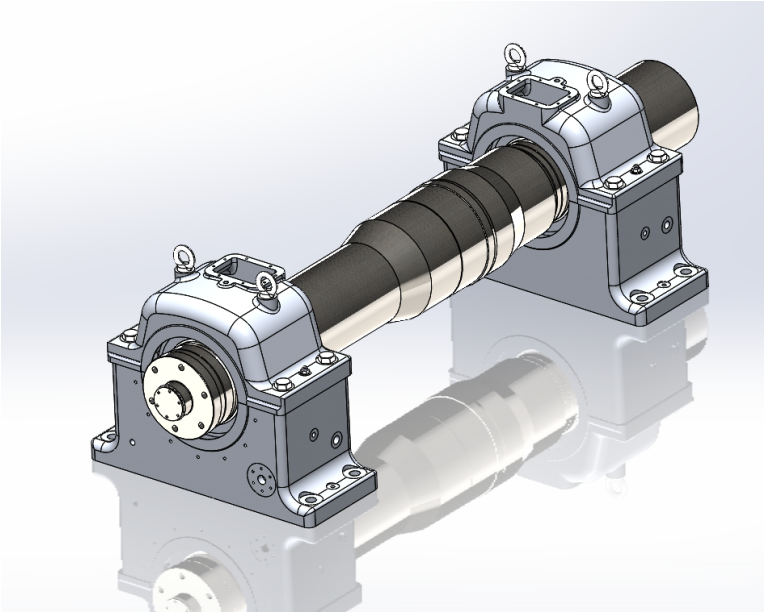
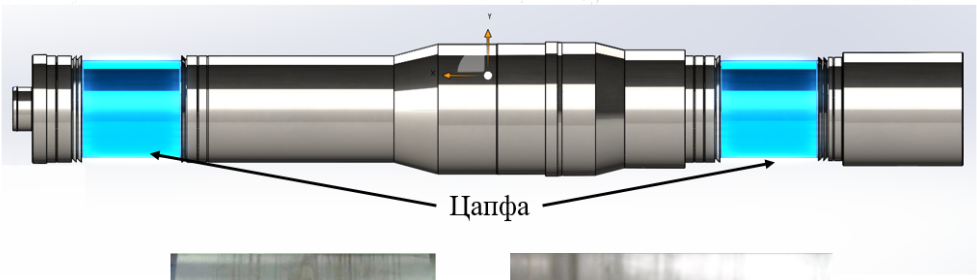


Рисунок 1 – Вал ротора электродвигателя и опоры скольжения

Задир цапфы ротора является существенной проблемой которая нарушает правильную работу электродвигателя. Одной из причин таких дефектов может быть перегревание подшипника до образования масляного клина, вследствие сухого трения. При установившемся режиме работы температура подшипника не должна превышать допустимую для материала вкладыша и сорта используемого масла [6].Возможные дефекты в процессе эксплуатации электродвигателя представлены на рис. 2.



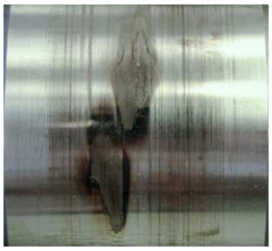
а)  б)

Рисунок 2 – Возможные дефекты в процессе эксплуатации:
а – задир; б – налипание баббита на поверхность цапфы

С повышением температуры материал вкладыша расширяется, а вязкость масла

приводит к тому, что масляная пленка местами разрывается, возникает зона металлического контакта между вкладышем и цапфой (шейкой вала), где под действием молекулярных сил образуются мостики микросварки, приводящие к глубинному вырыванию материала. В результате происходит заедание цапфы в подшипнике и, как следствие, вкладыши расплавляются или полностью захватываются разогретой цапфой и проворачиваются в корпусе [7, 8].

Основная идея работы заключается в обработке цапф ротора методом вибрационного накатывания, тем самым создав поверхность с регулярным микрорельефом (РМР), который позволит удерживать смазку и повысит противозадирную стойкость рабочих поверхностей цапф ротора и опор скольжения при запуске электродвигателя.

Многолетние исследования многих ученых подтвердили положительное влияние обработки поверхностей вибрационным накатыванием с образованием РМР. Одним из факторов, влияющих на процессы трения и изнашивания, является смазочная способность поверхностей. Наличие регулярного микрорельефа способствует удержанию смазочного материала и облегчению его распространения по поверхности, особенно в период приработки. Исходя из промышленного опыта износ и период приработки существенно ниже при использовании РМР [10]. Повышение износостойкости в период приработки объясняется упрочнением поверхностного слоя, а одновременное уменьшение продолжительности приработки — доминирующим влиянием улучшенного микрорельефа и регуляризации формы и размера канавок.

Детали машин наиболее уязвимы, когда происходят ненормальные виды износа, такие как задир и схватывание. Используя промышленный опыт, был проведен анализ зависимости температуры от нагрузки при шлифовании и вибрационном накатывании (рис. 3). Кривая 1 показывает появление задира на поверхности для шлифованной поверхности. Испытания проходили в равных условиях (давление, скорость, смазка), обработанные образцы имели температуру поверхности ниже на 52 °С, чем при шлифовании, и ни на одном образце не наблюдался задир поверхности [11, 12, 13].

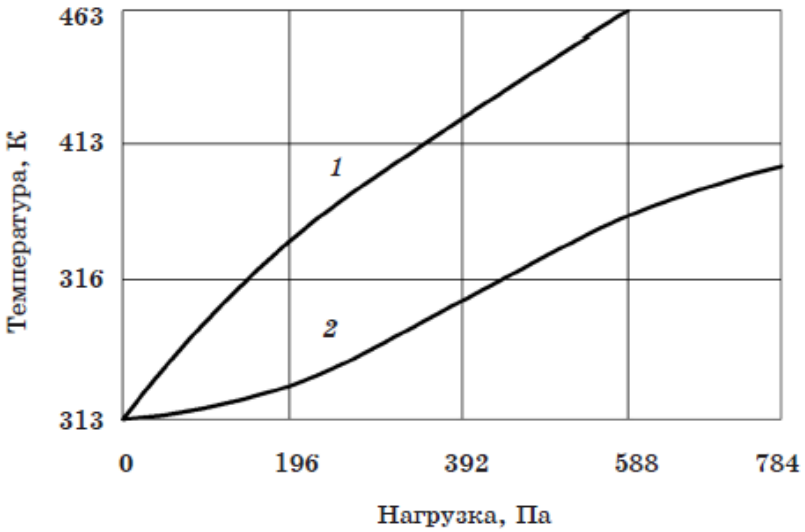


Рисунок 3 - Зависимость температуры от нагрузки при обработке:
1 – шлифование; 2 – вибрационное накатывание

В результате анализа проведенных исследований и промышленного применения вибрационного накатывания установлено положительное влияние регулярного микрорельефа поверхности на ряд эксплуатационных характеристик узлов трения, которые работают в условиях высоких вибраций и статических нагрузок.

Вибрационное накатывание повышает однородность микрорельефа поверхностей деталей и управление микрорельефом (регулирование

взаиморасположения микронеровностей, размеров и формы) является существенным резервом улучшения таких важных эксплуатационных свойств деталей машин, как износостойкость, сопротивление схватыванию, ползучести, коррозии и др.

Создание регулярного микрорельефа и его значения параметров с высокой точностью воспроизводятся при заданном режиме вибрационного накатывания, тем самым исключается необходимость их измерения с помощью приборов и эталонных образцов. При этом данный способ ППД прост для технического применения и может быть использован как в энергетическом, так и в горном машиностроении [9, 14, 15].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *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.
2. *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.
3. *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.
4. *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.
5. *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.
6. *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.
7. *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.
8. *Костин Н.А.* Газовая цементация стали 18ХГТ с использованием термоциклирования / Н.А. Костин, В.И. Колмыков, Е.В. Трусова / Auditorium. Электронный научный журнал. Курского государственного университет. - 2018. - № 3 (19).
9. *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.
10. *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.
11. *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.
12. *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.
13. *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.
14. *Ершов Д.Ю.* Оценка вибрационных процессов механических систем на этапе их проектирования в машиностроении / Записки Горного института. - 2014. - Т. 209. - С. 51-54.
15. *Алексеева Л.Б.* Использование вибрационных технологий для вытяжки изделий / Л.Б. Алексеева, В.В. Максаров // Металлобработка. - 2013. - Т. 5-6. - С. 68-73.

УДК 622.27:621.83

КНЯЗЬКИНА В. И.,
САФРОНЧУК К.А.,
МЯКОТНЫХ А.А.
Санкт-Петербургский горный университет

МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРАНСМИССИЙ ГОРНЫХ МАШИН

Аннотация. В рамках стратегии технического обслуживания и ремонта по фактическому состоянию, осуществляя технологию регламентных работ по техническому обслуживанию горной техники и выявлению дефектов ресурсоопределяющих сопряжений возможно осуществлять эффективную очистку и восстановление свойств, как масел и смазок, так и рабочих жидкостей горных машин. Для чего целесообразно применение бортовых системам диагностики, позволяющие фиксировать сигналы акустического диапазона для оценки состояния систем карьерной техники при ее работе.

Ключевые слова: мониторинг, трансмиссия, ресурсоопределяющее сопряжение, износ, рабочая жидкость, смазка, пара трения, акустический сигнал, бортовые системы диагностики.

KNYAZKINA V.I.,
SAFRONCHUK K.A.,
MYAKOTNYKH A.A.
Saint-Petersburg Mining University

MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF TRANSMISSIONS OF MINING MACHINES

Abstract. As part of the maintenance and repair strategy for the actual condition, implementing the technology of routine maintenance of mining equipment and identifying defects in resource-defining mates, it is possible to effectively clean and restore the properties of both oils and lubricants and working fluids of mining machines. Why it is advisable to use on-board diagnostic systems that allow you to record the acoustic range signals for assessing the condition of mining equipment systems during its operation.

Keywords: monitoring, transmission, resource-determining coupling, wear, working fluid, lubricant, friction pair, acoustic signal, on-board diagnostic systems.

Поступательное развитие и минерально-сырьевой отрасли, а вместе с ней и комплексов горных машин, являющихся ее основной движущей силой ведет к повышению их единичной мощности, совершенствованию конструкции, систем их диагностики и технического обслуживания в процессе эксплуатации для сведения к минимуму рисков отказов этих машин и недопущению потерь вызванных остановами такого оборудования. Экстремальные условия эксплуатации испытывают на себе горные машины, работающие в условиях открытых разработок: экскаваторы, буровые установки и станки, карьерное дробильно-сортировочное оборудование, горнотранспортные машины [1, 5, 8, 9]. Здесь значительные динамические и статические нагрузки, запыленность, наличие негабарита, сложные горно-геологические условия эксплуатации сочетаются и с неблагоприятными погодными

условиями, их сезонностью. Как правило, эти мощные машины не перемещают на значительные расстояния и, следовательно, производство ремонтных работ в рамках технического обслуживания, работ, связанных с дозаправкой или сменой рабочих жидкостей или лубрикаторов механических и гидравлических трансмиссий, проводят непосредственно на месте эксплуатации таких машин [3]. Вместе с тем, отказ любой машины в технологической цепочке этого оборудования, влечет за собой сбой в работе всей технологической цепи. Таким образом, сложные условия эксплуатации, трудоемкость и не комфортность проведения работ по техническому обслуживанию ремонту способствуют интенсификации деградационных процессов и, как следствие, ведут к повышению рисков аварийных отказов оборудования, росту трудоемкости ремонтных работ и повышению затрат на реализацию мер их предупреждения при неизменных подходе к апокатастасису (восстановлению) технического состояния в рамках традиционного технического обслуживания, что требует изменения отношения к выбору стратегии технического обслуживания, как фактору антидегрдационного характера [3, 13, 15].

В результате обзора стратегий технического обслуживания и ремонта горных машин было установлено, что наиболее прогрессивной является стратегия технического обслуживания по фактическому состоянию. Основным отличием системы ФСО от системы ППР является применение непрерывного мониторинга технического состояния методами неразрушающего контроля.

Как показал анализ опыта эксплуатации основной причиной отказа карьерных экскаваторов является повышенный износ ресурсоопределяющих трибосопряжений трансмиссий. Не своевременная замена или регенерация смазочных рабочих сред ведет к интенсификации износных и коррозийных процессов: насосов, гидродвигателей, цилиндров и их элементов, снижению объемного КПД гидросистем из-за износа клапанов, дросселей, золотниковых пар, подшипников, зубчатых передач, уплотнений, шарниров; а ранняя замена приводит к серьезным материальным потерям [2, 4, 6, 7].

Для обеспечения нормальной работы трансмиссий экскаваторов, в тяжелых условиях их эксплуатации смазка должна гарантировать разделение контактирующих поверхностей, предотвращать задиры и заедание, снижать интенсивность износа. Выбор соответствующего типа смазки для карьерного экскаватора и отдельных его механизмов имеет решающее значение для рабочего состояния машины, но не менее важным является также выбор системы смазки [10, 11, 12, 14]. Инновационным решением в этом вопросе является обеспечение доставки лубрикатора в трибосопряжение по каналам системы смазки, по его состоянию, определяемому величиной акустического сигнала трения, контролируемого в диапазоне ультразвуковых частот.

В рамках стратегии технического обслуживания и ремонта по фактическому состоянию, осуществляя технологию регламентных работ по техническому обслуживанию горной техники и выявлению дефектов ресурсоопределяющих сопряжений возможно осуществлять эффективную очистку и восстановление свойств, как масел и смазок, так и рабочих жидкостей гидравлических экскаваторов. Для чего целесообразно применение регенерационных установок и бортовых системам диагностики, позволяющие фиксировать сигналы акустико-эмиссионного диапазона для оценки состояния систем карьерных экскаваторов при его работе.

При оценке смазывающей способности масел необходимо достоверно определять характер трения в контакте. Величина среднего значения уровня акустического сигнала D, фиксируемая в ультразвуковом диапазоне частот в полной мере позволяет оценить характер трения в кинематической паре. Эксперименты проводились на машине трения типа УМТ в смазочной среде при вращении верхнего образца по неподвижному нижнему образцу при заданной нагрузке. Угловые скорости и давление в паре детерминировано изменялись при параллельном измерении

показателя *D* для получения общей картины о закономерностях изменения характера трения в заданных условиях для ряда масел.

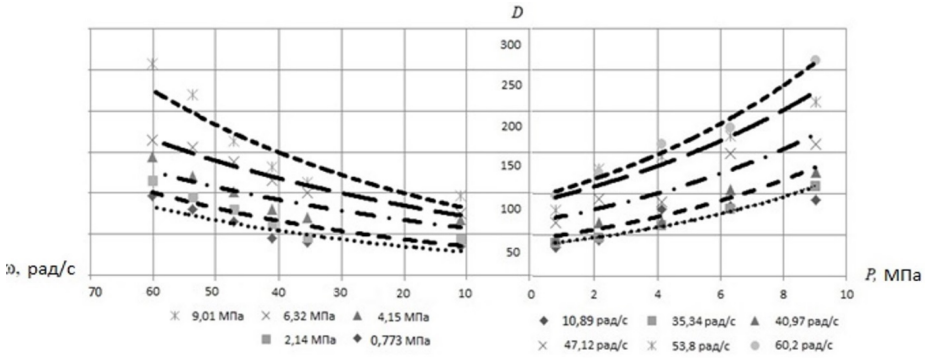


Рисунок 1 - Изменение величины комплексного показателя D сигнала внешнего трения для базового масла И-20 от угловой скорости и давления в паре трения

В ходе эксперимента были заданы шесть уровней угловых скоростей при пяти уровнях давления в паре трения. Обработанные результаты экспериментов представлены на рис. 1 для базового масла И-20 [4, 5, 6]. Из полученных результатов видно, что имеется устойчивая тенденция возрастания величины показателя *D* при росте угловой скорости. По стабильности величины этого сигнала при неизменных скорости, давлении и его величине можно судить о характере трения в паре, соответственно – жидкостном, смешанном или сухом. Жидкостное трение характеризуется малой величиной сигнала и его стабильностью и реализуется при малых давлениях и не высоких скоростях. Износ при этом виде трения минимален. Различие лишь интенсивности нарастания величины показателя *D*. Однако, переход к сухому трению при высоких скоростях происходит уже при небольших значениях давления, при этом при малых скоростях в паре трения сохраняются нормальные уловия даже при значительных давлениях в контакте.

Введение в масла металлической меди в виде тонкодисперсного порошка также резко снижало значения показателя *D* при прочих равных условиях [4, 5]. Наличие абразива и засоренность масла также легко фиксируется при таком способе диагностики, вызывая увеличение уровня акустического сигнала, фиксируемого как показатель *D*. Таким образом экспериментально установлена возможность фиксировать, по средством показателя *D,* деградационные процессы в динамике по величине и характеру изменения акустического сигнала в ультразвуковой полосе частот от процесса трения в контролируемых ресурсоопределяющих подвижных соединениях для выявления на ранней стадии дефектов и повреждений в трансмиссиях гидравлических и электрических карьерных экскаваторах, оценивать состояние смазочных и рабочих сред ресурсоопределяющих узлов трения и, при включении подобных датчиков в бортовые системы диагностики, управлять системами смазки и их регенерации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пумпур Е.В.* Оценка факторов влияния на выбор стратегии технического обслуживания экскаваторов / Е.В. Пумпур [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – №12 (специальный выпуск 41). – С. 19.

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. - №3. - С. 15-27.

3. *Герике П.Г.* Поиск предпосылок для создания единого диагностического критерия оценки предельного технического состояния горной техники // Известия Уральского государственного горного университета. - 2016. - № 4 (44). - С. 63-67.
4. *Knyazkina V.I.* About possibility of immediate evaluation of technical condition of mining equipment using signal value of acoustic emission friction // V.I. Knyazkina, K.A. Safronchuk and S.L. Ivanov / IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – 560. – 012068.
5. *Knyazkina V.I.* Mobile lubrication and filling installations to reduce mining machines and equipment downtime when providing maintenance / K.A. Safronchuk, V.I. Knyazkina, S.L. Ivanov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2019. - 560.
6. *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. – 87**.** – 022024.
7. *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 // Горная и нефтяная электромеханика – 2018; проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горно-шахтного оборудования и нефтепромыслового оборудования. Материалы V междунар. науч.-практич. конф. Пермь, 15-18 октября 2018 года. Под ред. д-ра техн. наук, проф. Г.Д. Трифанова, д-ра техн. наук, проф. Г.З. Фрайнбурга. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2018. - С. 39-43.
8. *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.
9. *Иванов С.Л.* Изменение наработки современных отечественных экскаваторов ЭКГ от условий их функционирования // Записки горного института. – 2016. - Т: 221. - С. 692-700.
10. *Пумпур Е.В.* Применение агрегатно-узлового метода при обслуживании горной техники // Е.В. Пумпур, С.Л. Иванов / Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: 14-я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. В 2 т. Т.1: материалы конференции. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2018. - С. 214-219.
11. *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. – 194. **-** 022013.
12. *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. - № 1. - С. 166–174.
13. *Ivanov S.L.* Integral criterion of mining machines technical condition level at their operation / S.L. Ivanov, P.V. Shishkin // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2017. - 87 **–** 022009.
14. *Kuvshinkin S.U.* Relationship of dynamic properties of mine excavator hoisting mechanism versus design parameters of operating equipment / S.U. Kuvshinkin, I.E. Zvonarev, P.V. Ivanova // Journal of Physics: Conference Series. - 2018. - 1118(1). – 012054.
15. *Емельянов А.А.* К вопросу оценки влияния квалификации машиниста на техническое состояние экскаватора / С.Л. Иванов, Д.А. Шибанов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. - S38. - С. 442-453.

УДК 622.331

КОРОВАШКИН К.П.,
ПРУЖИНИН А.И.
Тверской государственный технический
университет

ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ МОДУЛЯ СУШКИ МОБИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА ТОПЛИВНЫХ ГРАНУЛ

Аннотация. В данной работе рассмотрены аспекты выбора оборудования для модуля сушки топливных гранул.

Ключевые слова: мобильное производство, сушка топливных гранул, сушильная установка.

KOROVASHKIN K.P.,
PRUZHININ A.I.
Tver State Technical University

SELECTION OF EQUIPMENT FOR DRYING MODULE FOR MOBILE PRODUCTION OF FUEL PELLETS

Abstract. This paper considers the aspects of selecting equipment for the fuel pellet drying module.

Keywords: mobile production, drying of fuel pellets, drying plant.

Одной из важнейших операций в подготовке исходного сырья к гранулированию для обеспечения требуемых качественных характеристик готовой продукции является процесс сушки. В связи с тем, что производство топливных гранул является мобильным и осуществляется в полевых условиях торфяного предприятия, необходимо подобрать сушильное оборудование, соответствующее данным требованиям.

После проведения литературного обзора и патентного поиска [1-20] была выбрана передвижная сушильная установка СЗПБ-2.5. Данная установка имеет ряд технических преимуществ (возможность транспортировки, компактность, универсальность по использованию топлива и т.д.). Управление сушилки автоматическое, поэтому не требуется присутствия персонала рядом с установкой во время работы. Сушилка хорошо подходит для сушки торфодревесной массы, ее перемешивания и подготовки для поступления в гранулятор.

Сушильная установка располагается в модуле сушки и находится после пропарочной камеры и загружается двухшнековым аппаратом. После подачи торфодревесной массы в приемное устройство, она попадает на шесть винтообразных дорожек, подводящих ее к секторам барабана. Продвигаясь вдоль него, масса в конце попадает на винтообразные дорожки, служащие для отвода ее через шнек в охладительный барабан. Охлажденная масса ссыпается через шлюзовой затвор на ленточный транспортер.

Для смешивания топочных газов с воздухом установлена смесительная коробка. Шнеки, подающие и убирающие торфодревесную массу, приводятся в движение от отдельных электродвигателей.

Система управления обеспечивает автоматическое управление пуском электродвигателей в заданной технологической последовательности: автоматический

розжиг топки, контроль и поддержание заданной температуры теплоносителя, контроль за работой электродвигателей и форсунки. Топливом служат дизтопливо или торфяные пеллеты (гранулы).

Работа выполнена под руководством доцента Жигульской А.И.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Большунов А.В., Кремчеев Э.А., Михайлов А.В., Нагорнов Д.О.* Энергонезависимый технологический комплекс по производству продукции из торфа // Патент на изобретение RU 2529059. 2013.
2. *Mikhailov A*. Granulating of coal fines using peat / XVIII International Coal Preparation Congress, 28 June - 01 July 2016 Saint-Petersburg, Russia. Editors: Litvinenko, Vladimir (Ed.). Springer International Publishing. – 2016. – Vol. 2. - P. 719-725.
3. *Яконовская Т.Б.* Комплекс машин для добычи и переработки торфодревесного сырья / Т.Б. Яконовская, А.И. Жигульская // Инновации на транспорте и в машиностроении: сборник трудов III международной научно-практической конференции. - СПб: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2015. – Т. II. - С. 76-79.
4. *Mikhailov A.* Reclamation of Mine Tailings Using Natural Peat / Legislation, Technology and Practice of Mine Land Reclamation. Edited by Zhenqi Hu. Proceedings of the Beijing International Symposium Land Reclamation and Ecological Restoration, LRER 2014, Beijing, China, 16-19 October 2014, CRC Press. - 2014. - 363-369.
5. *Зюзин Б.Ф.* Дистортность – естественнонаучная теория: монография. / Б.Ф. Зюзин, В.А. Миронов. - Тверь: Тверской государственный технический университет, 2019. – 176 с.
6. *Mikhailov A.* Peat fuel types for supply logistics / Proceedings of the 5th International International Carpathian Logistics Congress. November 4th - 6th 2015, Priessnitz Republic. – 2015. - P. 412-417.
7. *Михайлов А.В.* Эффективность карьерной добычи торфа с полевым механическим обезвоживанием / А.В. Михайлов [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. - №7. - С. 30-41.
8. *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. Edited by BehzadGhodrati, Uday Kumar, HåkanSchunnesson. Luleå University of Technology. - 2017. - P. 497-501.
9. *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. -2014. – Vol. 2. - P.1243-1249.
10. *Михайлов А.В.* Масштаб торфяного производства и комплектование оборудованием // Процессы и средства добычи и переработки полезных ископаемых. Минск 17-20 апреля 2012. Сборник трудов Междунар. научн.-техн. конфер. - 2012. - С. 63-67.
11. *Mikhailov A.V.* The relationship between fractal properties and active porosity of peat compositions / A.V. Mikhailov, O.Z. GarmaevandA.S. Fedorov. // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. -2019. - Vol. 836. - P. 58-62.
12. *Миронов В.А.* Инварианты дистортности: Монография / В.А. Миронов, Б.Ф. Зюзин. -Тверь: ТвГТУ, 2015. - 168 с.
13. *Mikhailov A.V.* Preliminary study of tubular peat extrusion / *A.V. Mikhailov et al*. // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. – 2019. – 560. - 012061.

14. *Mikhailov A.V.* A potential application of in-pit crushing-conveying and dewatering system in peat mining / *A.V. Mikhailov et al*. // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – 378. - 012086.
15. *Mikhailov A.* An integrated approach to strip mining of peat / A. Mikhailov, A. Zhigulskaya and O.Garmaev // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. – 2019. - Vol. 378. - 012087.
16. *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. – 206. - 668–675.
17. *Mikhailov A.V.* Excavating and loading equipment for peat mining / A.V. Mikhailov, A.I. Zhigulskaya, T.B. Yakonovskaya // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2017. - 022014.
18. *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. - №14. - С. 82-91.
19. *Жигульская А.И.* Новая классификация средств комплексной механизации добычи и переработки торфодревесного сырья / А.И. Жигульская [и др.] // Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции. Отв. ред. В.В. Габов, Н.С. Голиков. - 2016. - С. 90-93.
20. *Михайлов А.В.* Анализ условий вертикальной выемки торфяного сырья / А.В. Михайлов, Е.А. Родионов, И.Е. Звонарев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2019. - №1. - С.48-54.

УДК 621.926.52:621.91

КОРОГОДИН А.С.
Санкт-Петербургский горный университет

ПОИСК ИННОВАЦИОННЫХ ПОДХОДОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОЛЫХ ЦАПФ ОПОРНЫХ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ БАРАБАННЫХ МЕЛЬНИЦ

Аннотация. Рассмотрены существующие технологии ремонтного восстановления цапф опорных подшипниковых узлов барабанных мельниц и проведен анализ способов капитального ремонта опорных цапф мельниц. Представлена структура технического обслуживания и ремонта барабанных мельниц. Даны подходы к реализации низкозатратных технологий проведения ремонтных работ.

Ключевые слова: капитальный ремонт, барабанная шаровая мельница, опорный подшипниковый узел, полая цапфа, базовый узел, ресурсоопределяющий, восстановление.

KOROGODIN A.S.
Saint-Petersburg Mining University

SEARCHING FOR INNOVATIVE APPROACHES TO RESTORING HOLLOWJOURNAL BEARING UNITS OF DRUM MILLS

Abstract. Existing technologies of shaft bearing unit repair of drum mills and the analysis of methods of capillary-tall repair of mill bearing pins are considered. The structure of maintenance and repair of drum mills is presented. Approaches to implementation of low-cost repair technologies are given.

Keywords: overhaul, drum ball mill, bearing unit, hollow journal, base unit, resource determining unit, recovery.

В настоящее время металлургическая отрасль Российской Федерации одна из наиболее развивающихся и важных составляющих в функционировании ее экономике, занимающая второе место после нефтегазовой промышленности [1].

В отечественной горно-металлургической промышленности для помола различных рудных и нерудных полезных ископаемых широко применяют барабанные шаровые мельницы [2]. Они сравнительно просты по конструкции и технологичны в эксплуатации. Их простота в обслуживании и возможность регулирования в широких диапазонах величины помола продукта предопределило их дальнейшее применение предприятиями [3].

Барабанные шаровые мельницы являются одним из основных элементов подготовительного передела. В процессе своей работы под действием значительных динамических нагрузок, абразивности рабочей среды и запыленности атмосферы, элементы барабанных мельниц, их узлы и агрегаты подвергаются интенсивному изнашиванию. А учитывая, что тонкому измельчению подвергаются большие объемы материалов, становится очевидным, что в процессе эксплуатации мельницы подвержены интенсивному изнашиванию, в первую очередь вся ее механическая часть, включая крупногабаритные опорные вращающиеся детали и узлы. Особое место среди них занимают базовые ресурсоопределяющие узлы – подшипниковые гидростатические опоры скольжения [4].

Опорные устройства барабана мельниц, выполняются в виде баббитовых

подшипников скольжения, взаимодействующих с пустотелыми цапфами корпуса барабана.

Перегрев опорных подшипников из-за засорения системы смазки и неисправности уплотнительных средств является одной из наиболее распространенных причин выхода из строя барабанных мельниц. Возникающие вследствие тепловых процессов неуравновешенности и вибрации в сочетании с высокими удельными нагрузками поверхностей цапф и подшипников мельницы вызывают неравномерное изнашивание опорных подшипниковых узлов, зазор в подвижном соединении увеличивается, масляная подушка, разделяющая цапфу и баббитовый вкладыш, истончается и опорные подшипники перестают нормально функционировать. Происходит разбалансировка опорных узлов из-за чего возникают высокие осевые и радиальные нагрузки.

При выкрашивании поверхностного слоя подшипника и цапфы, абразивные частицы способствуют интенсивному изнашиванию опор скольжения, в результате чего на рабочих поверхностях цапф появляются риски, забоины, задиры, вмятины, трещины и сколы, а сам профиль цапф приобретает конусообразность [5, 6, 7]. Что приводит к отказам самой мельницы и остановке всей цепи оборудования и требует проведения как внеочередных ремонтно-восстановительных работ, так и работ в рамках мероприятий ТОиР [8].

Текущий ремонт шаровых мельниц проводится один раз в месяц (через 720 ч работы) и продолжительностью 12 ч.при трудозатратах 16 чел.-ч. При текущем ремонте обычно проводят осмотр деталей и узлов мельницы и ее привода, заменяют сальниковые набивки, осуществляют затяжку крепления броневых плит и замену смазки подшипников привода, добавляя масло в картер редуктора.

Периодичность среднего ремонта составляет 2880 ч., его продолжительность – 48 ч. при трудоемкости 86 чел.-ч. После наработки в 17280 ч. производят капитальный ремонт мельницы, его продолжительность составляет около 120 ч. при трудоемкости в 175 чел.-ч. При капитальном ремонте, в период проведения которого и производят восстановление рабочих поверхностей опорных цапф, мельницу полностью демонтируют и разбирают на узлы и детали, после чего износившиеся составляющие ремонтируют или заменяют [9].

Существующие технологии ремонтного восстановления цапф опорных подшипниковых узлов барабанных мельниц, связаны с необходимостью остановки всей технологической цепи оборудования на продолжительный период времени [10]. При капитальном ремонте производят ремонт цапф и подшипниковых опор.

Для этого, перед разборкой освобождают мельницу от материала; затем снимают крышки люков камер и при вращении корпуса мельницы высыпают шары через открытые люки. После разгрузки мелющих тел внутреннюю полость мельницы промывают водой, после чего одновременно отключают электродвигатель от сети и водяное охлаждение подшипников и маслопровод системы смазки, сливая при этом воду и смазку. Затем после снятия ограждений привода и отсоединения его муфт, вскрывают верхние крышки опорных гидростатических подшипниковых узлов, заблаговременно удаляя уплотнительное устройство, осматривают и проверяют поверхности загрузочной и разгрузочной цапф, замеряют образовавшиеся в процессе изнашивания зазоры и величину отклонения от цилиндричности.

Далее от редуктора отсоединяют промежуточный вал, осуществляют подъем корпуса, его демонтаж и демонтаж сварных полых цапф.

После демонтажа их промывают керосином, насухо вытирают ветошью и выявляют забоины, царапины, задиры, коррозионные разъедания рабочих поверхностей. Дефекты устраняют наплавкой с последующим протачиванием наружной поверхности цапфы. Демонтаж и ремонт полых цапф производят на стационарных карусельных станках, предназначенных для обработки изделий больших

габаритов, а затем шлифуют всю цапфу. Все это весьма трудоемкий процесс, требующий оптимизации и механизации.

Так как перевозкой цапф на соответствующие промышленные площадки требует больших временных затрат и является весьма трудоемким процессом, то, следовательно, экономически выгодно производить обработку цапф мельницы без ее демонтажа на месте ее установки. С этой целью в настоящее время, используют технологию обработки специальными нестационарными станками для восстановления рабочей цилиндрической поверхности цапф на месте эксплуатации мельниц [11].

Примером такого технического решения является приставной станочный модуль для обработки опорных цапф барабанных мельниц, включающий стационарную опору на которой закреплен механизм самоустановки стоек для базирования цапф, состоящий из корпуса основание которого выполнено в виде сферы в средней части которого закреплены опорные ролики, установленные на валу, с установленным обрабатывающим узлом, который содержит силовой стол с закрепленным на нем кубом с суппортом [12].

Недостатком приставного станочного модуля то, что во время вращения цапфы при прохождении ее бурта по дефектному месту опорного ролика происходит смещение сферического основания с поперечным суппортом, приводя к неточной обработке цапфы.

Известен станок для обработки цапф помольных мельниц, включающий подвижный корпус со сферическим основанием на котором закреплена стойка с режущим инструментом, ролики для базирования буртов цапф, закрепленные на подвижных плунжерах, размещенных по периметру основания сферического вида для устранения его колебаний [13].

Недостатком устройства является необходимость наличия буртов определенного расположения и размера на цапфах для их базирования в процессе обработки на станке, а также необходимость переустановки станка после обработки первой цапф, что увеличивает время проведения ремонтных работ и погрешность обработки цапф.

Известен способ обработки крупногабаритных валов без их демонтажа (патент РФ №2242346, МПК B23P 6/02, B2 B 5/08, опубл. 20.12.2004), включающий обработку поверхности скольжения цапфы путем воздействия на нее обрабатывающим элементом при ее вращении от электродвигателя мельницы, при этом обрабатываемая цапфа, устанавливается буртами на четыре опорных ролика модульного станка, а необрабатываемая цапфа, устанавливается в стационарную подвижную опору для ее фиксации от осевого перемещения.

Недостатком способа является необходимость использования собственного двигателя мельницы для придания вращательного движения корпусу мельницы при обработке ее цапф от собственного двигателя в открытых подшипниках непосредственно, на нижних частях подшипниковых цапф, что не дает возможности проводить параллельно ремонтные работы самого привода и цапф мельницы. Кроме того, после обработки первой цапфы необходимо переустанавливать опоры, что увеличивает погрешность базирования, нарушая принцип постоянства баз, возрастает время проведения ремонтных работ.

Известен способ механической обработки наружных цилиндрических поверхностей и устройство для его осуществления (патент РФ №2288076, МПК B23B 1/00, B23B 5/08, опубл. 27.11.2006), включающий обработку наружной вращающейся поверхности, закрепленной одним концом в плавающем патроне переднего ведущего центра станка и помещенной на оправке, которая расположена напротив режущего инструмента и синхронно перемещается с ним в продольном направлении, при этом положение обрабатываемого изделия в радиальном направлении стабилизируют прижимными роликами в процессе обработки режущим инструментом.

Недостаток способа заключается в том, что он не предусматривает возможность применения широкого спектра инструментов для проведения ремонтных работ, а наличие прижимных роликов, прилегающих к обрабатываемой вращающейся поверхности, снижает качество ее обработки.

Известен способ восстановления барабанной мельницы, включающий демонтаж мельницы путем отсоединения фланцев загрузочной и разгрузочной цапф от фланцев барабана мельницы, отделение цапф от барабана мельницы, очистку изношенных круговых и цилиндрических поверхностей фланцев от окалины, минеральных и металлических наслоений, наращивание изношенных частей наплавкой металла, снятие на кольцевых и цилиндрических поверхностях излишне наплавленного металла, монтаж мельницы путем соединения фланцев загрузочной и разгрузочной цапф с фланцами барабана мельницы и восстановление соосности монтажных отверстий для болтовых соединений фланцев цапф с фланцами барабана мельницы, при этом демонтаж мельницы осуществляют на промплощадке предприятия [14].

Недостатком способа является необходимость демонтажа мельницы с частичной разборкой мельницы и отсоединением цапф от барабана с дальнейшей транспортировкой их на промплощадку предприятия для проведения ремонтных работ, а по их завершении транспортирование барабана на место установки мельницы с проведением ее сборки, центровки составных частей и последующим монтажом, что значительно увеличивает трудоемкость ремонтно-восстановительных работ и их продолжительность.

Известен способ восстановления внешних цилиндрических поверхностей, включающий обработку внешних цилиндрических поверхностей вращающихся деталей до 7000 мм, в частности бандажа печи в процессе ее эксплуатации с помощью шлифовального устройства, имеющего рабочий орган в виде бесконечной абразивной ленты со шкивами, один из которых соединен с мотором-редуктором его привода, и подпружиненным опорным колесом, установленного на рабочем столе с направляющими продольного хода, столом поперечного хода с электродвигателем, траверсой, взаимодействующей с обрабатываемой внешней цилиндрической поверхностью бандажа посредством роликов [15].

Недостатком способа является необходимость использования собственного двигателя обрабатываемого изделия для придания ему вращательного движения при обработке его внешних цилиндрических поверхностей, а базирование устройства по его поверхностям в процессе их обработки, снижает их точность и качество обработки. Кроме того, после обработки одного бандажа необходимо переносить и заново выставлять устройство для обработки следующего, что увеличивает погрешность соосности расположения обработанных бандажей относительно друг друга.

В имеющихся исследованиях по данной тематике не в полной мере решены вопросы восстановления работоспособности цапф при обеспечении необходимой точности их обработки. Таким образом, в настоящее время постановка задачи восстановления цапф мельниц в условиях эксплуатации представляется весьма актуальной с практической и теоретической точек зрения и требует проведения исследований и последующей разработки технического решения по разработке устройства для восстановления цапф барабанных мельниц совместно с ее корпусом, непосредственно на месте их эксплуатации в рамках инновационной технологии проведения капитального ремонта базовых узлов мельницы. При применении которого обеспечит снижение времени нахождения оборудования в ремонте и будет способствовать развитию горно-металлургической промышленности страны.

СПИСОК ИПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Корогодин А.С.* Построение профилей копиров для специализированных станков по

обработке янтарных кабошонов на основе компьютерных технологий / А.С. Корогодин, Б.П. Борисов // Вестник молодёжной науки: электронный научный журнал. – 2019. - №2(19). - С. 9.
2. Прогрессивное машиностроительное оборудование. Коллективная монография. / В.В. Ержуков [и др.]; Под. ред А.В. Киричека. – М: Издательский дом «Спектр», 2011. – 248 с.
3. *Богданов В.С.* Технологические комплексы и механическое оборудование предприятий стройиндустрии / В.С. Богданов, С.Б. Булгаков, А.С. Ильин. - СПб.: Проспект науки. –2010. – 624 с.
4. *Ревенко Н.Ф.* Экономика ремонта и обслуживания оборудования предприятий / Н.Ф. Ревенко, В.В. Семенов, А.Г. Схиртладзе. - М.: ООО «ТНТ», 2012. - 456 с.
5. *Ivanov S.L.* Integral criterion of mining machines technical condition level at their operation / S.L. Ivanov, P.V. Shishkin // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2017. – 87. – 022009.
6. *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. – 194. - 022013.
7. *Бестужева О.В.* Искажения поверхности резания обрабатываемой детали в форме усеченного конуса при ротационной обработке / О.В. Бестужева [и др.] // Технология Машиностроения. – 2016. – №4.
8. *Пумпур Е.В.* Оценка факторов влияния на выбор стратегии технического обслуживания экскаваторов / Е.В. Пумпур [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 12 (специальный выпуск 41). – С. 3–19.
9. СТО 70238424.27.060.01.011-2009. Мельницы шаровые барабанные. Общие технические условия на капитальный ремонт. Нормы и требования // Стандарт организации НП «ИНВЭЛ». – 2010. – 134 с.
10. *Кутепов И.Н.* Электропривод шаровой мельницы // Молодежь и наука: сборник материалов IX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 385-летию со дня основания г. Красноярска [Электронный ресурс]. — Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2013.
http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2013/section033.html.
11. *Корогодин А.С.* Совершенствование технологического процесса ремонта цапф барабанной мельницы без ее демонтажа // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: 78 международная научно-техническая конференция. - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2020. - 141 с.
12. *Бондаренко Ю.А., Липчанская Ю.Г., Федоренко М.А.* Приставной станок для обработки цапф // Патент Российской Федерации RU 165774 U1. 2016.
13. *Бестужева О.В., Бондаренко Ю.А., Федоренко М.А., Липчанская Ю.Г.* Станок для обработки цапф помольных мельниц // Патент Российской Федерации 166615. 2016. Бюл. № 30.
14. *Пивень В.А., Бавыкин А.Е., Маховский Ю.А., Олейник А.И., Белова М.А.* Способ восстановления барабанной мельницы // Патент Российской Федерации 2429113. 2011. Бюл. №26.
15. *Гончаров А.Б., Тулинов А.Б.* Способ восстановления цилиндрических поверхностей // Патент Российской Федерации 2476306. 2013. Бюл. №6.

УДК 622.271.5

КОРОЛЕВ Р.И.
Санкт-Петербургский горный университет

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ДОБЫЧИ КОБАЛЬТО-МАРГАНЦЕВЫХ КОРОК

Аннотация. Рассмотрены основные виды глубоководных полезных ископаемых, содержащих востребованные на сегодняшний день компоненты: марганец, никель, медь, кобальт, молибден, цинк. Проведен анализ существующих конструкций устройств для сбора глубоководных полезных ископаемых. Обоснована компоновочная схема комплекса для добычи железомарганцевых конкреций и кобальто-марганцевых корок состоящая из кораблей обеспечения, канатной подъемной системы и сборщиками. Описан сборщик для глубоководной добычи КМК с исполнительными органами в виде устройства грейферного типа.

Ключевые слова: сборщик; кобальто-марганцевые корки; глубоководная добыча; грейфер.

KOROLEV R.I.
Saint-Petersburg Mining University

JUSTIFICATION OF THE DESIGN FOR DENICE FOR DEEP-SEA MINING

Abstract: The main types of deep-sea minerals containing the components demanded today are considered: manganese, nickel, copper, cobalt, molybdenum, zinc. The analysis of existing designs of devices for collecting deep-sea minerals is carried out. The layout scheme of the complex for the extraction of manganese nodules (MN) and cobalt-rich manganese crusts (CMC) consisting of support ships, a rope hoisting system and mining collectors is justified. The collector for deep-water mining of the CMC with executive bodies in the form of clamshell type devices.

Key words: mining collector; cobalt-rich manganese crusts; deep-sea mining; clamshell type device.

Введение

На протяжении нескольких десятков лет ведутся интенсивные поисковые и разведочные работы в Тихом океане. В процессе этих исследований определилось три типа твердых полезных ископаемых.

Железомарганцевые конкреции (ЖМК), глубоководные месторождения сульфидов (ГПС), кобальто-марганцевые корки (КМК) распространены на склонах подводных гор и гайотах на глубине 800-2500 м. Обычно встречаются в виде наста, толщиной до 20 см, покрывающих склоны и горы, но также могут быть и рассыпчатыми конкрециями [1].

Актуальной проблемой является отсутствие проверенного оборудования и устройств для извлечения ЖМК, КМК и ГПС.

Анализ выбора конструкции исполнительных органов для сбора глубоководного полезного ископаемого.

Обоснование конструкции устройства для добычи глубоководных КМК

Учитывая все существующие наработки и требования, предлгаемая нами

компоновочная схема комплекса, основана на применении судна (кораблей) обеспечения, имеющего систему канатного подъема заполненных сосудов с рудной массой и систему опуска самоходных горных машин (2-6 единиц) с исполнительными органами для сбора полезного ископаемого (ПИ), предварительно, в бункер, находящийся на горной машине, а затем перегрузкой в сосуд для подъема на поверхность (рис. 1).

Управление и согласование всех устройств необходимо осуществлять с помощью системы телеметрии, которая основана на акустическом принципе передачи сигналов управления и навигации.

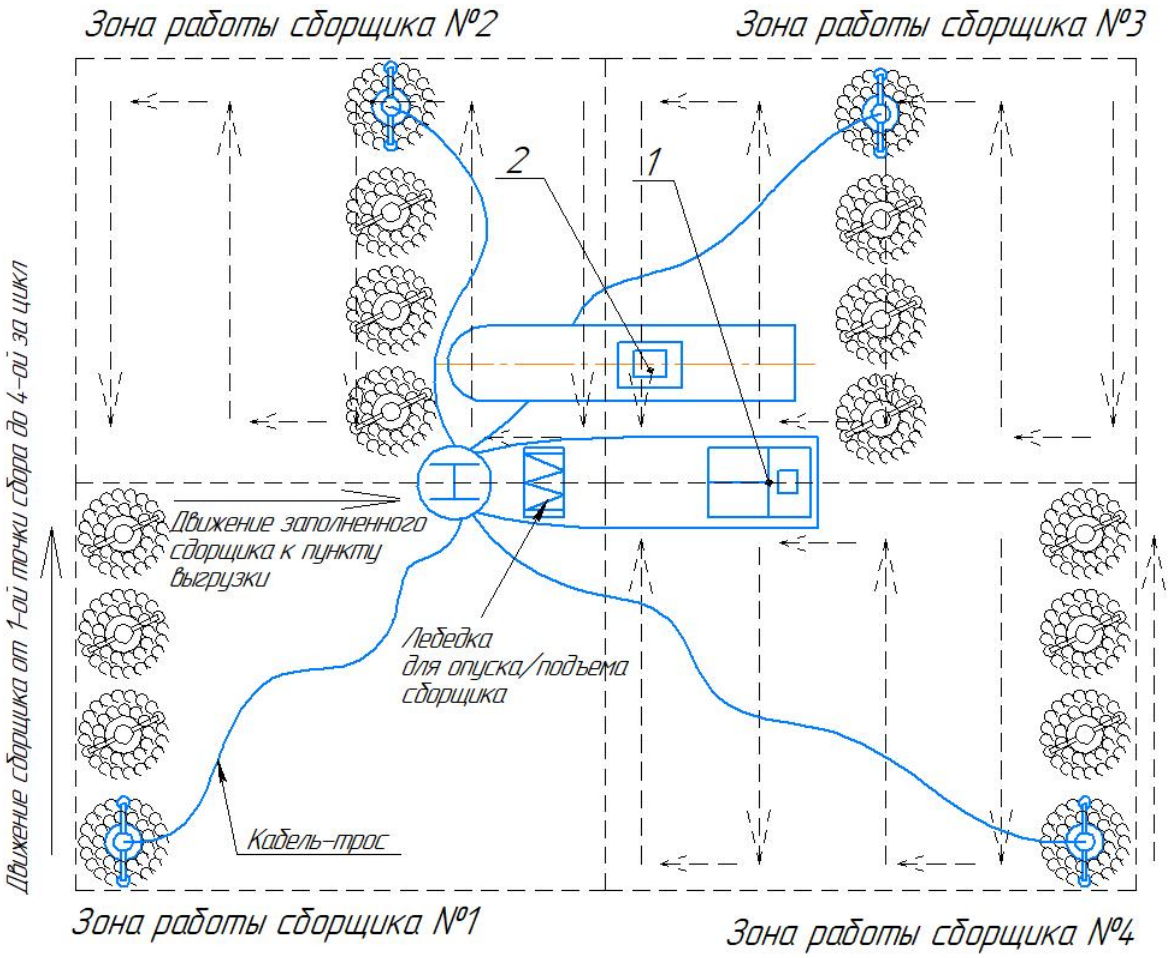


Рисунок. 1 - Схема разработки участка с глубоководным полезным ископаемым с использованием 4-х сборщиков:
1 – судно управления сборщиками, 2 – судно для подъема и накопления собранной горной массы

Устройство для сбора КМК представляет из себя агрегат с 4-мя манипуляторами, на концах которых закреплены устройства для захвата ПИ. В зависимости от типа ПИ устройства для захвата могут меняться. Так как кобальт-марганцевые корки отличаются своей твердостью и условиями залегания в виде однородного массива, то они требуют предварительного разрыхления. Таким образом данная задача может быть решена использованием в качестве исполнительного органа - устройство грейферного типа (рис. 2). Один или два из манипуляторов может быть оснащен грейфером с ударником. В качестве грейфера можно использовать гидравлический грейфер с ковшом закрытого типа для жидко-сыпучих материалов.

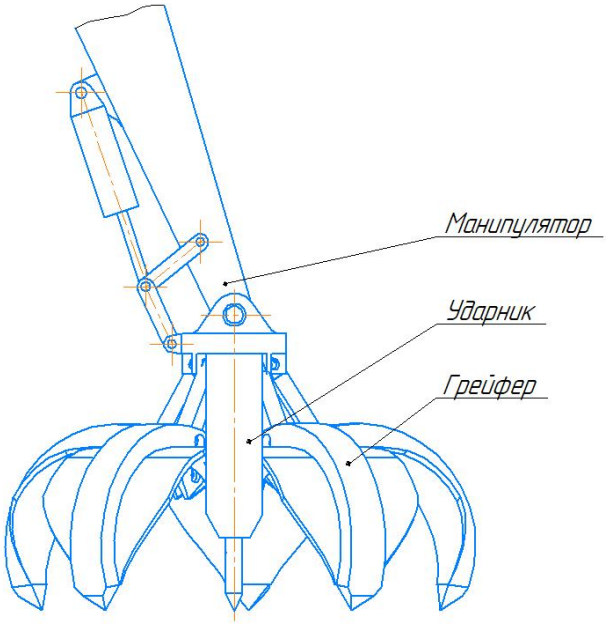


Рисунок 2 - Исполнительный орган сборщика глубоководных КМК

Заключение

Разработана конструкция прототипа сборщика, представленная выше, обоснована и может быть использована для основных видов подводных месторождений, например, для КМК. Данная конструкция сборщика может быть адаптирована для любого вида транспортирования руды со дна на поверхность, в том числе и для канатного подъемного транспорта. Использование универсальных взаимозаменяемых узлов и агрегатов, которые в процессе изучения вопроса могут заменяться, позволит повышать производительность и рентабельность добычи глубоководных полезных ископаемых.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИЕРАТУРЫ

1. *Tetsuo Y.* Fundamental geotechnical consideration for design of deep-sea mining systems / Springer International Publishing. – 2017. - P. 259-295.
2. *Юнгмейстер Д.А.* Машины и оборудование для добычи железомарганцевых конкреций / Д.А. Юнгмейстер, Д.В. Смирнов, А.П. Вержанский, И.А. Исаев. - СПб.: Политехника-сервис, 2015. – 135 с.
3. *Bilenker L.D.* Kinetics of sulfide mineral oxidation in seawater: Implications for acid generation during in situ mining of seafloor hydrothermal vent deposits / L.D. Bilenker, G.Y. Romano, M.A. McKibben // Applied Geochemistry. – 2016 – 75. – P. - 20-31.
4. *Zhang Y.* Identifying the development of mining-induced fractures zone using dynamic stress tracing method / Y. Zhang et al. // Rock and Soil Mechanics. – 2016. - 37 (11). – P. - 3291-3298.

УДК 621.914.1

КОШЕЛЕВА В.А.
Балтийский государственный технический университет
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ПРОФИЛЯ РАБОЧЕЙ ЧАСТИ РОТОРА ВИНТОВОГО КОМПРЕССОРА

Аннотация. В данной работе представлена методика определения теплофизических характеристик при фрезеровании с примером расчета применительно профиля рабочей части ротора винтового компрессора. В основу положен метод источников, разработанный проф. А.Н. Резниковым. Результатом вычислений являются: температура на обработанной поверхности детали и глубина металла поверхностного слоя, на которую изменяется температура.

Ключевые слова: теплофизические характеристики, ротор, винтовой компрессор, фрезерование, профиль рабочей части ротора, поверхностный слой, температура.

KOSHELEVA V.A.
Baltic State Technical University
"VOENMEH" named after D.F. Ustinov

DETERMINATION OF THERMOPHYSICAL CHARACTERISTICS AT MILLING THE PROFILE OF THE WORKING PART OF A SCREW COMPRESSOR ROTOR

Annotation. This paper presents a methodology for determining the thermophysical characteristics during milling with an example of calculation as applied to the profile of the working part of the rotor of a screw compressor. The method of sources developed by prof. A.N. Reznikov. The result of the calculations are: the temperature on the treated surface of the part and the depth of the metal of the surface layer, which changes the temperature.

Keywords: thermal characteristics, rotor, screw compressor, milling, profile of the working part of the rotor, surface layer, temperature.

Винтовой компрессор представляет собой агрегат промышленного назначения, нагнетающий воздух посредством винтовой пары [1, 2].

Основной задачей данной работы является: повышение качества при механической обработке профиля рабочей части ротора компрессора и разработка технологических режимов на основе результатов исследования теплофизических характеристик в зоне резания.

В металле поверхностного слоя обрабатываемого изделия в результате механической обработки наводятся технологические остаточные напряжения (ТОН). ТОН принято называть такие напряжения, которые существуют и уравновешиваются внутри тела после устранения воздействий, вызвавших их появление [3-6].

Для дальнейшего определения ТОН были рассчитаны теплофизические характеристики ведомого ротора винтового компрессора.

Исходные данные для расчета теплофизических характеристик представлены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные для расчета теплофизических характеристик

Обрабатываемый материал: конструкционная легированная сталь	30ХГСА
Коэффициент формы, для источников ограниченной ширины, k_c	0,9
Передний угол инструмента , γ	0°
Задний угол, α	6°
Подача на зуб, a_2	0,09 мм/зуб
Частота вращ шпинделя, n	189 мин$^{-1}$
Условный предел текучести, соответствующий пластической деформации, равной 0,2%, $\sigma_{0,2}$	590 МПа
Предел прочности обрабатываемого материала, $\sigma_в$	710 МПа
Предел текучести, $\sigma_т$	610 МПа
Поправочный коэффициент, учитывающий разупрочнение, k_b	0,00034
Теплопроводность обрабатываемого материала, λ	12,5 Вт/(м·К)
Коэффициент относительной обрабатываемости стали, K_v	0,7
Скорость резания, V	140 м/мин
Относительное удлинение при растяжении, δ	0,13
Поправочный коэффициент, k_g	0,4
Коэффициент температуропроводности материала обрабатываемой детали, ω_2 (ω)	8 мм^2/с
Фаска износа по задней поверхности инструмента, h_3	0,2 мм
Линия контакта между задней поверхностью инструмента и деталью, l_2	0,2 мм

Источник теплоты в первичной зоне стружкообразования в соответствии с методикой Резникова А.Н. [7, 8] является внутренним, при этом тепло передается в разные объекты – в деталь, которую можно рассматривать как полупространство, и в стружку, которую можно рассматривать как стержень, протягиваемый через источник вдоль скорости V_1. Соотношение между теплотой, передаваемой в стружку и деталь, зависит от коэффициента Пекле, увязывающего скорость резания и температуропроводность обрабатываемого материала. Часть теплоты передаваемой в стружку, будет определяться коэффициентом k^*. Соответственно, часть теплоты передаваемой в деталь, будет определяться коэффициентом $1 - k^*$. В соответствии с классификацией Резникова А.Н. тепловых источников и стоков рассматриваемый источник теплоты можно закодировать:

- для детали - $\frac{2П1}{РБУ}П2$ - источник двумерный, полосовой, ограниченный по одной координатной оси, равномерно распределенный, быстродвижущийся, в установившемся процессе, полупространство, граничные условия второго рода;
- для стружки - $\frac{2П2}{РБУ}С2$ - источник двумерный, полосовой, ограниченный по двум координатным осям, равномерно распределенный, быстродвижущийся, в установившемся процессе, стержень, граничные условия второго рода.

Коэффициент k^* Определяется выражением:

$$k^* = \frac{1}{1 + \frac{1,33}{k_c}\frac{\xi}{\sqrt{Pe_0}}}, \qquad (1)$$

где k_c – коэффициент формы, для источников ограниченной ширины $k_c = 0,9$; Pe_0 - критерий Пекле применительно к первичной зоне стружкообразования, ξ –

коэффициент усадки стружки, определяемый по формуле Тиме [9], $\xi = 1{,}707$.

В формуле (2) в качестве параметра задана температура в плоскости сдвига $\Theta_д$, которая может быть вычислена в рамках рассматриваемого алгоритма по методике, разработанной Резниковым А.Н. [7]. Опуская промежуточные преобразования, запишем окончательное выражение для $\Theta_д$, представленного в работе [10]:

$$\Theta_д = \frac{k_1 \omega \sqrt{\alpha V \sigma_T \cos\gamma}}{(k_1 \sqrt{\alpha V} \lambda \sin\Phi + \lambda \sqrt{\pi\omega} \sqrt{\tan\Phi}) \cos(\Phi - \gamma)}, \quad (2)$$

где λ - теплопроводность обрабатываемого материала; ω - коэффициент температуропроводности обрабатываемого материала, $\omega = 8\ мм^2/с$, k_1 – поправочный коэффициент, для жаропрочных сплавов $k_1 = 1{,}166$; $\Phi -$ угол сдвига, $\Phi = 30°$.

Определим температуру $\Theta_д$ для обрабатываемого материала. Часть температуры в плоскости сдвига, отводимая в стружку $\Theta_{д1}$,и в деталь $\Theta_{д2}$:

$$\Theta_{д1} = \Theta_д k^*; \quad (3)$$

$$\Theta_{д2} = \Theta_д \left(1 - k^*\right). \quad (4)$$

Температура трения на площадке контакта между передней поверхностью инструмента и стружкой, отводимая в стружку $\Theta_{1т}$, усредненная по линии контакта, определяется выражением (5):

$$\Theta_{1т} = k_{\Theta 1т} \frac{\sqrt{\omega}}{\lambda} q_{1т} \sqrt{\frac{\xi \ell_1}{V}} L_c, \quad (5)$$

где $k_{\Theta 1т}$ – коэффициент приведения единиц величин, $k_{\Theta 1т} = 0{,}142$; L_c - коэффициент формы распределенного источника теплоты между передней поверхностью инструмента и стружкой, $q_{1т}$ - интенсивность источника теплоты трения на площадке контакта между передней поверхностью инструмента и стружкой.

Теперь важно определить температуру стружкообразования между передней поверхностью инструмента и стружкой $\Theta_с$ для корректного выбора температурозависимых механических характеристик обрабатываемого материала $\sigma_в$, $\sigma_т$, σ_{-2} с учетом температуры в первичной зоне стружкообразования $\Theta_{д1}$. Формула определяется выражением [8]:

$$\Theta_с = \left(1 + c\right)\Theta_{д1} + \Theta_{1т}, \quad (6)$$

где c – коэффициент, учитывающий подогрев поверхностных слоев материала стружки с учетом технологических факторов;

Температура трения на площадке контакта между задней поверхностью инструмента и деталью, отводимая в деталь $\Theta_{2т}$, усредненная по линии контакта, определяется выражением

$$\Theta_{2т} = k_{\Theta 2т} \frac{\sqrt{\omega}}{\lambda} q_{2т} \sqrt{\frac{\ell_2}{V}}, \quad (7)$$

где $k_{\Theta 2т}$ – коэффициент приведения единиц величин, $k_{\Theta 2т} = 0{,}1$.

Важное значение для дальнейших исследований имеет температура, формируемая на обрабатываемой поверхности детали (изделия) $\Theta_и$. Она определяется выражением

$$\Theta_и = \left(1 + c\right)\Theta_{д2} T_и + \Theta_{2т}. \quad (8)$$

Результат зависимости температуры $\Theta_и$ в зоне контактирования детали с задней поверхностью инструмента от скорости резания представлен в виде графика на рис. 1.

Можно увязать максимальную глубину проникновения измененной температуры $h_м$ с теплофизическими и кинематическими характеристиками, представленную соотношением:

$$h_м = H\sqrt{\frac{\omega\,\ell_2}{V}}\,. \qquad (9)$$

Результат зависимости максимальной глубины проникновения измененной температуры $h_м$ от скорости резания для обрабатываемого материала представлен на рис. 2.

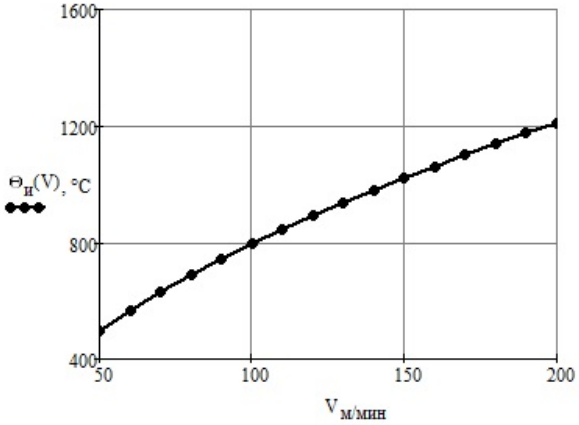


Рисунок 1 - Зависимость температуры $\Theta_и$ в зоне контактирования детали с задней поверхностью инструмента от скорости резания

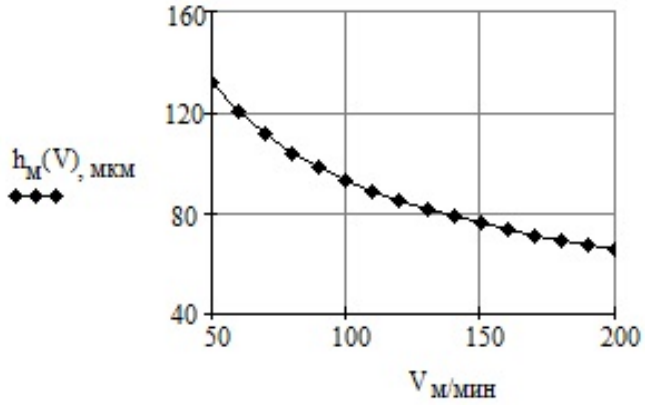


Рисунок 2 - Зависимость максимальной глубины проникновения измененной температуры $h_м$ от скорости резания для обрабатываемого материала

Выводы: В данной работе представлена методика определения теплофизических характеристик при фрезеровании с примером расчета применительно профиля рабочей части ротора винтового компрессора компрессора для дальнейших расчетов технологических остаточных напряжений (ТОН). Представлены результаты вычислений: температура на обработанной поверхности детали и глубина металла поверхностного слоя, на которую изменяется температура.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Носков А.Н.* Объемные компрессоры холодильных машин: Учеб.-метод. пособие. – СПб.: Университет ИТМО, 2016. – 33 с.

2. *Амосов П.Е.* Винтовые компрессорные машины. Справочник / П.Е. Амосов, Н.И. Бобриков. – М., 1977. – 253 с.

3. *Nikitin A.V.* Determination of technological residual stresses in the surface layer of parts with thin-walled elements during turning / A.V. Nikitin, I.Ya. Tarikov, D.V. Vasilkov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 666. - 012024.
4. *Овсеенко А.Н.* Технологическое обеспечение качества изделий машиностроения / А.Н. Овсеенко, Д.Н. Клауч, М.Е. Кущева; Моск. гос. технологич. ун-т «Станкин». - М.: Янус-К, 2006. - 118 с.
5. *Дубов А.А.* О проблеме измерения характеристик напряженно-деформированного состояния конструкционных материалов сложных технических объектов. Энергетическая концепция диагностики напряженно-деформированного состояния (НДС) материалов [Электронный ресурс] / А.А. Дубов, В.Т. Власов. - М., 2008. http:// www.energodiagnostika.ru/ru/about_mmm/article/about_mmm_sss_diagn.aspx.
6. *Васильков Д.В.* Упругое последействие в деталях при высокоскоростной обработке резанием / Д.В. Васильков, Т.Б. Кочина // Металлообработка. – 2014. - №2(80). - С. 2-10.
7. *Резников А.Н.* Теплофизика процессов механической обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с.
8. *Vasilkov D.V.* Thermophysical Properties of Heat-Resistant Steels and Alloys in Machining / D.V. Vasilkov et al. // Advances in Engineering Research/ - 2018. – Vol. 182. - P. 296-300.
9. *Кушнер В.С.* Теория стружкообразования: Монография [Текст] / В.С. Кушнер, О.Ю. Бургонова. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2011. – 176 с.
10. *Верещака А.С.* Резание материалов: Учебник / А.С. Верещака, В.С. Кушнер. – М.: Высшая школа, 2009. – 535 с.

УДК 622

КРИВОКРЫСЕНКО Е.А.,
ПОПОВ Г.Г.,
ЗЛОТИН В.А.,
ЖУЙКОВ И.В.,
ГАРЕЕВ Д.В.
Санкт-Петербургский горный университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ОТ ПАРАМЕТРОВ КОНЦЕНТРАТОРА НАПРЯЖЕНИЙ

Аннотация. Представлены результаты расчетного анализа напряженно-деформированного состояния фрагмента трубы, находящейся под давлением, при наличии на нижней ее образующей продольного надреза овальной формы. Показано, что под действием возникающих напряжений, максимальное значение которых σ_{max} достигается в металле дна надреза, участок фрагмента с надрезом «вдавливается» внутрь трубы. Установлен вид зависимости σ_{max} от величины эквивалентных напряжений в стенке трубе.

Ключевые слова: труба, напряженно-деформированное состояние, продольный надрез, распределение возникающих напряжений.

KRIVOKRYSENKO E.A.,
POPOV G.G.,
ZLOTIN V.A.,
ZHUIKOV I.V.,
GAREEV D.V.
Saint-Petersburg Mining university

DETERMINATION THE DEPENDENCE STRESSED-DEFORMED CONDITION OF THE STRUCTURES ON THE PARAMETERS OF THE STRESS CONCENTRATOR

Abstract. The results of a calculation analysis of the stress-strain state of a pipe under pressure in the presence of an oval notch on the lower part are presented. It is shown that under the influence of emerging stresses, the maximum value of which σ_{max} is reached in the notch bottom metal, the section of the pipe with an incision is «pressed» into the pipeline. The dependence of σ_{max} on the value of equivalent stresses in the pipe wall is established.

Keywords: pipe, stress-strain state, notch, longitudinal incision, the distribution of the equivalent stress.

Оценивались эквивалентные напряжения $\sigma_{экв}$ по формуле 1, возникающие под действием внутреннего давления P в жёстко заделанном по торцам фрагменте трубы ($L = 1$ м) различных диаметров D и толщин стенки δ, изготовленной из стали Ст3 ($\sigma_T = 272$ МПа, $\sigma_B = 550$ МПа). Расчет кольцевых $\sigma_{кц}$ и продольных $\sigma_{пр}$ напряжений, необходимых для установления эквивалентных напряжений $\sigma_{экв}$, проводился по известным формулам из [1] (индекс 2 в табл. 1) и методом конечных элементов в программном продукте ANSYS 2019 R1 [2] с линейным размером элемента 0,005 м (индекс 1).

$$\sigma_{экв} = \sqrt{\sigma_{кц}^2 - \sigma_{кц} \cdot \sigma_{пр} + \sigma_{пр}^2}\ . \qquad (1)$$

Таблица 1

Значения $\sigma_{кц}$, $\sigma_{пр}$, $\sigma_{экв}$, возникающие в фрагменте трубы различных параметров под действием внутреннего давления.

D, мм	δ, мм	P, МПа	$\sigma_{кц1}$, МПа	$\sigma_{кц2}$, МПа	Δ, %	$\sigma_{пр1}$, МПа	$\sigma_{пр2}$, МПа	Δ, %	$\sigma_{экв1}$, МПа	$\sigma_{экв2}$, МПа	Δ, %
114	4,0	2,0	27,5	26,50	3,77	7,5	8,0	5,66	26,0	23,6	10,56
219	6,0	2,5	44,4	43,13	2,89	12,1	12,9	6,32	41,47	38,3	8,19
325	8,0	3,0	59,5	57,94	2,63	16,1	17,4	7,49	55,4	51,5	7,58
377	9,0	3,5	71,58	69,81	2,54	19,3	20,9	8,08	66,7	62,0	7,46
426	9,9	4,0	84,1	82,06	2,50	22,5	24,6	8,64	78,3	72,9	7,33

Как видно из результатов расчета величина эквивалентных напряжений, возникающих в жестко заделанном фрагменте трубы, определяется, в основном, значением имеющих место кольцевых напряжений и возрастает с увеличением диаметра трубы и внутреннего давления.

Методом конечных элементов оценивалось (рис. 1), как на распределение полученных эквивалентных напряжений по телу фрагмента повлияет нанесение на его нижнюю образующую с внутренней стороны продольного надреза овальной формы (шириной 20 мм) различной глубины (h = 2; 3; 4; 5; 6 мм).

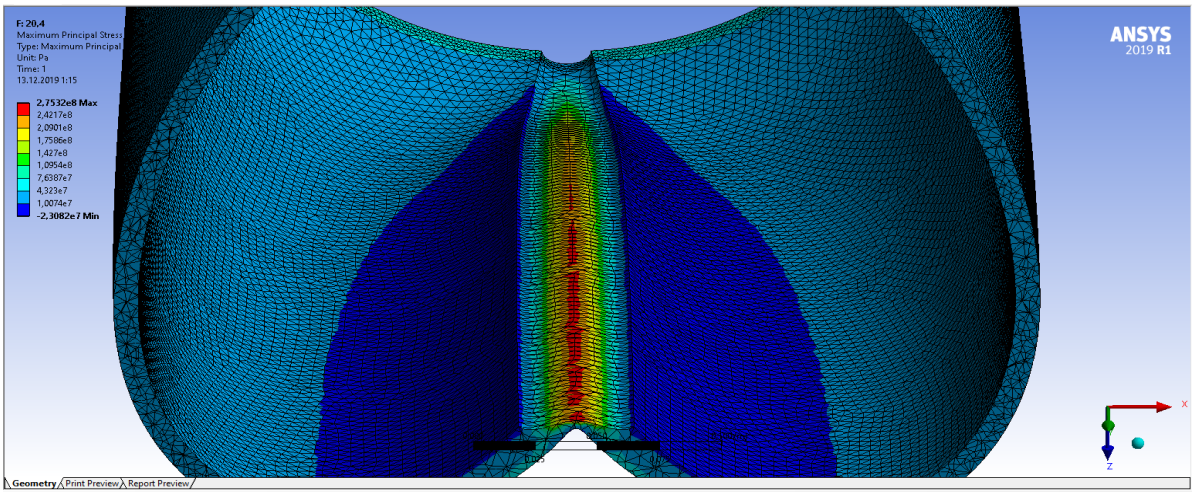


Рисунок 1 – Распределение эквивалентных напряжений по телу половины фрагмента трубы (h = 6 мм)

Видно, что появление надреза приводит к эффекту «вдавливания» донной части фрагмента внутрь трубы с возникновением в месте надреза значительных напряжений, существенно превышающих уровень $\sigma_{экв}$, имеющих место в исходной трубе. Напряжения распределены неравномерно: максимальные их значения σ_{max} демонстрируются в самой нижней точке надреза (для трубы D = 325 мм, δ = 10 мм, P = 2,0 МПа, h = 6 мм до 250 МПа), минимальные (до 40 МПа) – по его краям в их верхней точке (рис. 2), что согласуется с результатами, полученными в [3, 4] методом магнитной анизотропии [5-7]. На удалении от надреза напряжения практически не изменяются и близки к $\sigma_{экв}$.

Как показывает обработка данных графика (рис. 2), зависимость максимального напряжения от глубины надреза имеет вид экспоненциальной прогрессии:

$$\sigma_{\max} = \sigma_0 \cdot \exp(h \cdot b),$$

где b – размерный коэффициент, зависящий от формы и ширины надреза (для $\sigma_{экв}$ = 32,7 МПа, b = 0,3478 м$^{-1}$), вид которой представлен на рис. 3.

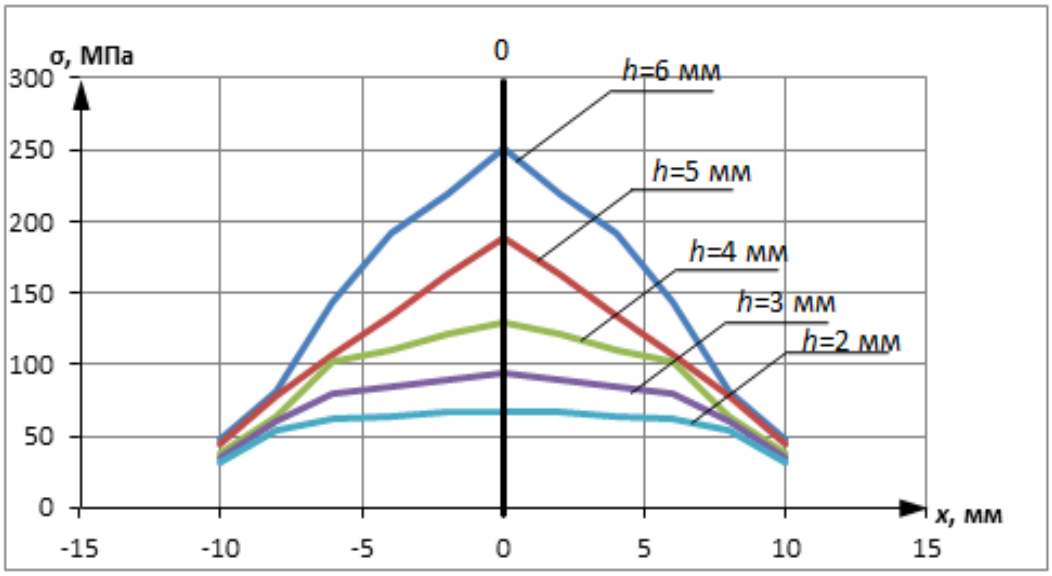


Рисунок 2 – Распределение напряжений в стенках надреза по его ширине в зависимости от глубины канавки h

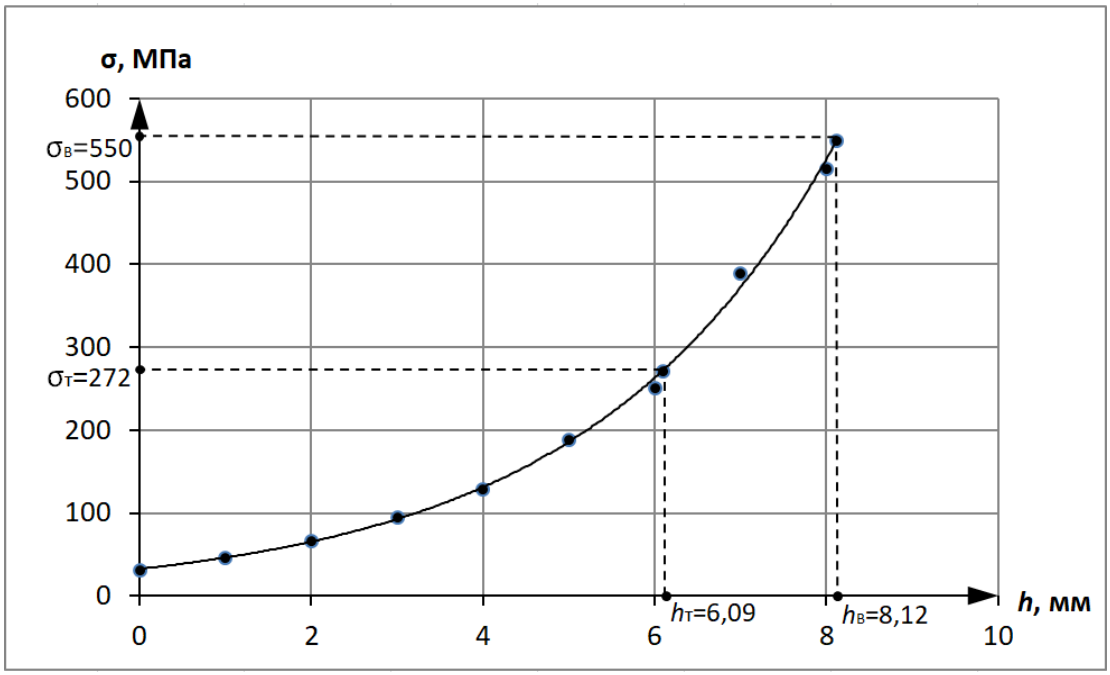


Рисунок 3 – Зависимость максимального напряжения в металле стенки трубопровода от глубины имеющегося надреза

При глубине надреза h ~ 8 мм (81,2% δ) величина σ_{max} достигает предела прочности материала трубы, в результате чего произойдёт ее разрушение. Это согласуется с литературными данными [8-10] о разрушении трубопроводов, подвергшихся влиянию «ручейковой» коррозии, проявляющейся в виде канавки на нижней образующей трубы.

Таким образом, можно заключить, что наличие концентратора напряжений в виде надреза приводит к возникновению значительных напряжений в окружающем надрез металле, величина которых возрастает в экспоненциальной зависимости с глубиной надреза.

Работа выполнена под руководством профессора Болобова В.И.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 284.1325800.2016. Трубопроводы промысловые для нефти и газа. Правила проектирования и производства работ.
2. *Иванов Д.В.* Введение в Ansys Workbench: Учебно-методическое пособие для студентов естественно-научных дисциплин / Д.В. Иванов, А.В. Доль. – Саратов: Амирит, 2016 – 56 с.
3. *Popov G.G.* Study of factors enabling initiation and behavior of grooving corrosion / G.G. Popov et al. // E3S Web Conf. - 2019. - Vol. 121. - 03004.
4. *Kasyanov A.V.* Determination of factors affecting on grooving corrosion / A.V. Kasyanov et al. // Topical Issues of Rational Use of Natural Resources. - 2019. - Vol. 1.
5. *Soady K.A.* Life assessment methodologies incorporating shot peening process effects: mechanistic consideration of residual stresses and strain hardening. 1. Effeact of shot peening on fatigue resistance // Mater. Sci. Technol. - 2013. - Vol. 29. № 6. - P. 673-651.
6. *Жуков С.В., Жуков В.С.* Устройство для измерения механических напряжений в металлических изделиях // Патент РФ № 2079825. 1997.
7. *Жуков С.В., Жуков В.С., Копица Н.Н.* Способ определения механических напряжений и устройство для его осуществления // Патент РФ № 2195636. 2001.
8. *Абдуллин И.Г.* Механизм канавочного разрушения нижней образующей труб нефтесборных коллекторов / И.Г. Абдуллин, С.Н. Давыдов, М.А. Худяков // Нефтяное хозяйство. - 1984. - Вып. 3. - С. 51-53.
9. *Бурков П.В.* Исследование напряженно-деформированного состояния промысловых трубопроводов подвергшихся воздействию ручейковой коррозии / П.В. Бурков [и др.] // Вестник Кузбасского государственного технического университета. - 2018. - Вып. 3. - С. 5-12.
10. *Виноградов С.Н.* Исследование коррозионной стойкости конструкционных сталей в пластовой воде / С.Н. Виноградов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. - 2008. - Вып. 4. - С. 139-144.

УДК 62-242.3: 621.941.1

МАКСИМОВ Д.Д.
Санкт-Петербургский горный университет

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ ДВС

Аннотация. Рассмотрены требования, предъявляемые к обеспечению геометрических параметров поршневых колец двигателей внутреннего сгорания. Рассмотрены преимущества применения технологии копирной обработки поршневых колец. Предложено копирное устройство. Приведены эпюры радиальных давлений поршневых колец, полученные методом термофиксации и копирной обработки. Предложено устройство для радиальной ориентации поршневых колец.

Ключевые слова: поршневое кольцо; эпюра радиальных давлений; токарная обработка; копирная обработка.

MAKSIMOV D.D.
Saint-Petersburg Mining University

TECHNOLOGICAL SUPPORT OF GEOMETRICAL PARAMETERS OF PISTON RINGS

Abstract. The requirements for ensuring the geometric parameters of the piston rings of internal combustion engines are considered. The advantages of applying the technology of copying processing of piston rings are considered. A copier is proposed. Plots of piston rings obtained by thermal fixation and copying are given. A device for the radial orientation of the piston rings is proposed.

Keywords: piston ring; radial pressure diagram; turning; copying.

Тенденция современного дизелестроения к форсированию дизелей по частоте вращения, мощности, эффективному давлению с одновременным увеличением их ресурса и снижением угара масла обусловливает напряженную работу всей цилиндропоршневой группы (ЦПГ) и, в особенности, поршневых колец. Повышение качества поршневых колец часто основано на совершенствовании методов получения заготовок [1, 2], внедрении современных технологических методов обработки [3-10], а также применении износостойких покрытий [11-15].

Работоспособность поршневых колец зависит во многом от ряда технологических параметров, создаваемых в процессе изготовления. Производство высококачественных поршневых колец настолько сложно, что сосредотачивается по большей части на специальных заводах с применением специального технологического оборудования, позволяющего получить необходимую форму кольца.

Возросшие за последние годы требования к качеству поршневых колец с заданными параметрами, обеспечивающими повышенные эксплуатационные свойства колец, предопределили переход от наиболее распространенного в настоящее время в дизелестроении способа формообразования колец – термофиксации на более совершенную технологию их изготовления – обработку профиля кольца по копиру (рис. 1).

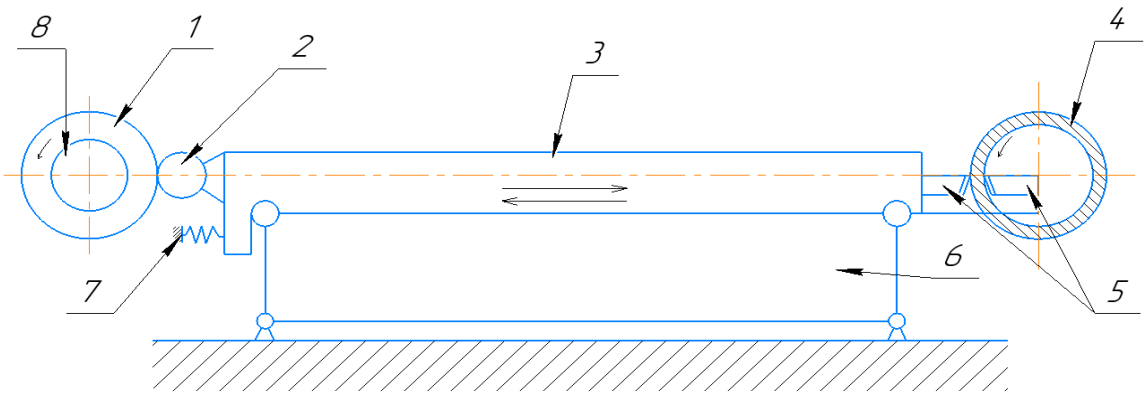


Рисунок 1 – Схема копирного устройства

Копирное устройство (рис. 1) представляет собой шарнирный параллелограмм (6), на котором установлена платформа с резцами (5), получающая движение через толкатель с роликом (2) от копира (1) с дисковым тормозом (8). Силовое замыкание кинематической цепи осуществляется двумя пружинами (7), передающими усилие через платформу и ролик на копир. Основание параллелограмма расположено на поперечном суппорте станка, что обеспечивает удобные подвод и отвод резцов от обрабатываемой детали. Привод к копиру осуществляется через систему шестерен, одна из которых установлена на шпинделе станка, а осевое перемещение – с помощью раздвижного вала со скользящей шпонкой. Расположение копира вне оси шпинделя с задней стороны станка дает возможность при необходимости его легко заменять.

В процессе проведения исследований выяснилось, что при увеличении разности приращений радиус-векторов смежных угловых координат копира его изготовление усложнилось, при этом никакой практической выгоды от применения масштабного копирования получено не было. Кроме того, жесткость кинематической цепи, передающей движение от ролика к резцу за счет применения рычага, зафиксированного шпонкой, снизилась, что существенно искажало воспроизводимую на заготовке кривую копирного точения.

Копирный способ формообразования поршневых колец требует выполнения уточненных расчетов формы кольца в свободном состоянии и профиля копира с учетом особенностей кинематики копирных узлов, а также технологического процесса обработки колец.

Этот способ формообразования позволяет более точно воспроизводить расчетные параметры у готовых колец, получить кольца с различными заданными эпюрами радиальных давлений, зависящими от функционального назначения колец. Опыт показывает, что ресурс колец, изготовленных копирным способом, возрастает на 25–30% по сравнению с термофиксированными при одновременном снижении угара масла в процессе эксплуатации на 10–15% [16].

Помимо кинематических особенностей существенное влияние на точность формообразования колец оказывает динамика узла: усилия резания; частота вращения шпинделя; перекладка зазоров в сопряжениях вследствие изменения направления крутящего момента, возникающего от силы, прикладываемой к копиру через ролик и т.д.

После копирной обработки кольца имеют стабильные значения радиальной толщины по периметру (отклонения до 0,03 мм) и после окончательной обработки прилегание по всей поверхности в контрольном кольце-калибре, т.е. являлись беспросветными. Измерения формы колец в свободном состоянии при помощи формомера и эпюры радиальных давлений при помощи специального эпюромера показывают довольно устойчивый характер получаемых результатов.

При нанесении на рабочую поверхность колец износостойких покрытий (в

особенности методом металлизации) происходит перераспределение напряжений в материале колец и как следствие некоторое искажение эпюры радиальных давлений (рис. 2). В тех случаях, когда до нанесения покрытия эпюра достаточно равномерна, это искажение не приводит к образованию «нулевых точек» при проверке на эпюромере и, следовательно, к просветам при проверке в контрольном кольце-калибре. В противном случае следует выполнить специальные исследования для выявления корректирующей функции, которую необходимо будет вводить в общий расчет определения профиля копира.

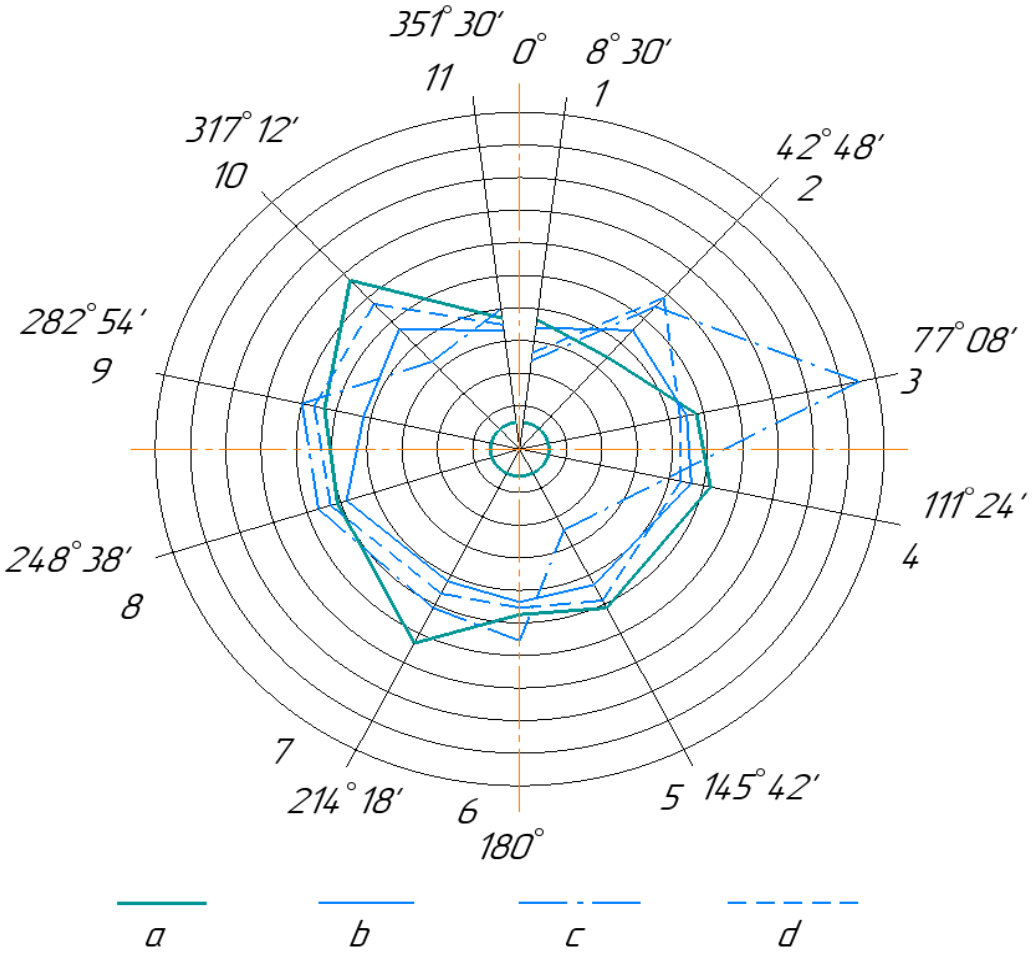


Рисунок 2 – Эпюры радиальных давлений поршневых колец Ø150 мм:
a – полученных копирной обработкой с молибденовым покрытием; b – полученных копирной обработкой со стале-молибденовым покрытием; c – полученных методом термофиксации со стале-молибденовым покрытием; d – расчетная

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.

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).

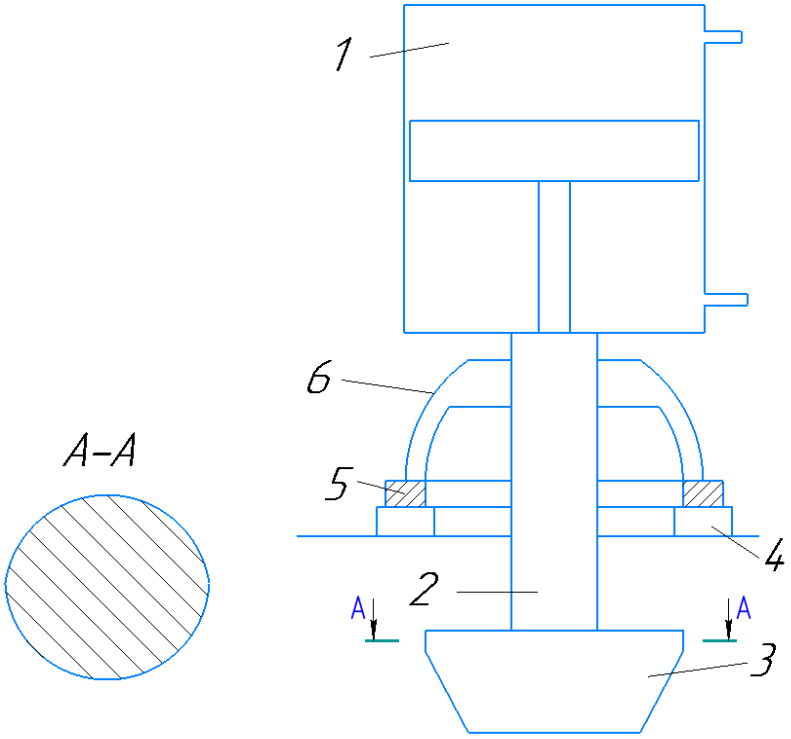


Рисунок 3 – Схема устройства для радиальной ориентации поршневых колец

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. - № 2. - С. 156-167.
2. *Марукович Е.И.* Повышение эксплуатационных свойств ответственных деталей горных машин из легированных чугунов / Е.И. Марукович [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2016. - № 10. - С. 48-60.
3. *Максаров В.В.* Технологические особенности магнитно-абразивной обработки в условиях цифровых технологий / В.В. Максаров [и др.] // Металлообработка. - 2019. - № 4 (112). - С. 3-10.
4. *Максаров В.В.* Технологическое обеспечение качества направляющих металлорежущих станков / В.В. Максаров [и др.] // Металлообработка. - 2019. - № 4 (112). - С. 59-67.
5. *Ershov D.Y.* Own fluctuations of technological systems / D.Y. Ershov, E.G. Zlotnikov, B. Nestorovski // Journal of Physics: Conference Series. - 2019. - 22055.

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. - 042069.
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. 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.
9. *Красный В.А.* Триботехнические характеристики деталей горных машин с регулярной микрогеометрией поверхности / В.А. Красный, В.В. Максаров // Металлообработка. - 2016. - № 1 (91). - С. 29-35.
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. - 27. – P. 151-156.
11. *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.
12. *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. - Т. 736. - P. 73-78.
13. *Красный В. А.* Оценка влияния шероховатости поверхности на повышение прочности сцепления износостойкого напыляемого покрытия / В.А. Красный, В.В. Максаров // Металлообработка. - 2014. - №5. - С. 47-51.
14. *Мяконьков М.Б.* Сравнительные исследования способов нанесения покрытий на поршневые кольца для уменьшения их износа // Металлообработка. - 2010. - № 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. - № 10. - С. 358-361.
16. *Загребин Г.Г.* Расчет формы поршневых колец в свободном их состоянии // Автомобильная промышленность. - 2014. - №10. - С. 13-15.

УДК 621.941.01: 538.951: 620.162

МЕЗЕНЦЕВ Д.А.
Балтийский государственный технический
университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ В EXPLICIT DYNAMICS ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА ANSYS WORKBECH

Аннотация. В статье представлена методика по конечно-элементному расчету процесса резания - токарной обработки. С возможностью задания необходимых параметров, таких как: скорость обработки, свойства материалов, теплофизические свойства, а так же других параметров влияющих на процесс резания, открываются возможности исследования распределения температурных полей, распределения напряжений и ряда других параметров. Методика легка в использовании и работоспособна, даны пояснения ряда используемых свойств и функций программного продукта.

Ключевые слова: EXPLICIT DYNAMICS; ANSYS; моделирование процесса резания; КЭ моделирование.

MEZENTSEV D.A.
Baltic State Technical University
«VOENMEH» named after D.F. Ustinov

SIMULATION CUTTING PROCESS IN EXPLICIT DYNAMICS OF THE ANSYS WORKBENCH SOFTWSRA PACKAGE

Abstract. The article presents a method for finite element calculation of the cutting process – turning. With the ability to set the necessary parameters, such as: processing speed, material properties, thermophysical properties, as well other parameters affecting the cutting process, opportunities for studying temperature fields, stress distribution and a number of other parameters open up. Method is easy to use and efficient, explanations of a number jf used properties and functions of the software product are given.

Keywords: EXPLICIT DYNAMICS; ANSYS; cutting process simulation, FEA.

Современную науку невозможно представить без компьютерного моделирования различных процессов. Машиностроение – не исключение. Процесс механической обработки (точение) является очень важным, с точки зрения исследования распределения температур, контроля остаточных напряжений [1] и ряда других важных параметров. Задача решенная в данной методике была выполнена многими исследователями [1, 2, 3], в программном пакете LS-DYNA [4], но данный продукт технически сложен и исключает пользование кем-либо, кроме специалистов-расчетчиков. Задача решена в explicit dynamics [5] программного пакета ansys workbench, который является наиболее простым в освоении чем LS-DYNA. В методике рассмотрены такие разделы как:

1. Создание проекта и задание нужных материалов и их свойств.

В методике описан процесс создания проекта, работа с библиотекой материалов, задание ключевых свойств, моделей поведения материала с переводом используемых свойств.

2. Создание и настройка геометрической, конечно-элементной модели.

Произведено описание геометрической CAD модели [6], а также процесс импорта модели в рабочий инструмент ANSYS Mechanical [7]. Важным этапом стало описание процесса создания и настройки конечно-элементной сетки [8] используемой в расчете, пример представлен на рис. 1.

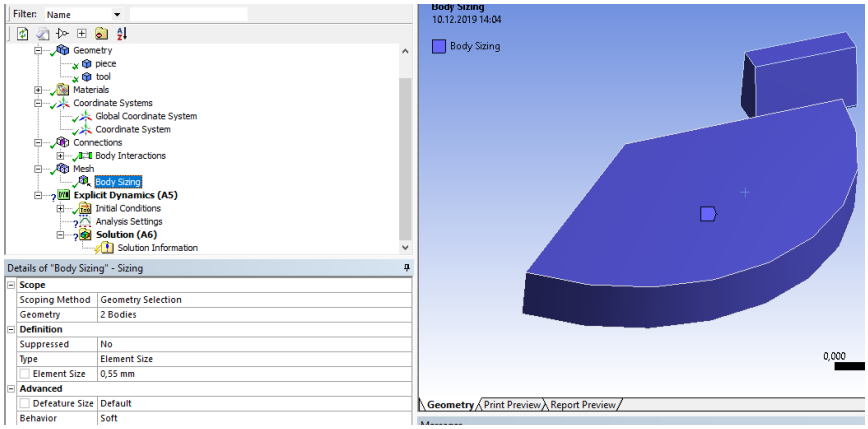


Рисунок 1 – Задание параметров конечно-элементной сетки

3. Задание нагрузок (перемещений, вращений), закреплений. В данном пункте описан процесс задания дополнительной системы координат и ее настройки – рисунки 2,3.

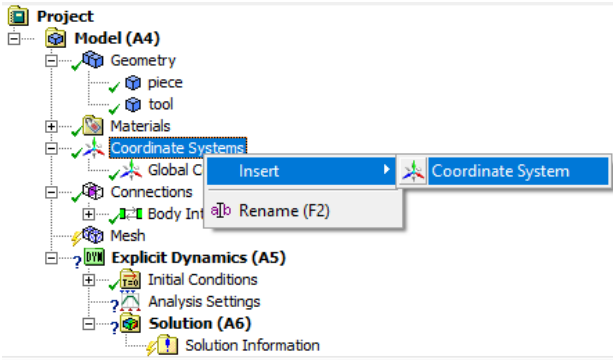


Рисунок 2 – Задание дополнительной системы координат

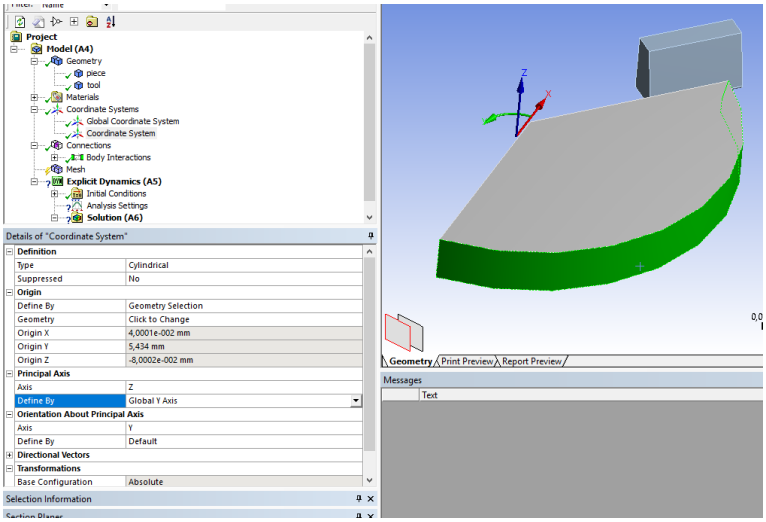


Рисунок 3 – Настройки дополнительной системы координат

Подробно описан процесс задания и настройки условий движения и закрепления, заданы перемещения и ряд других параметров (рис. 4-5).

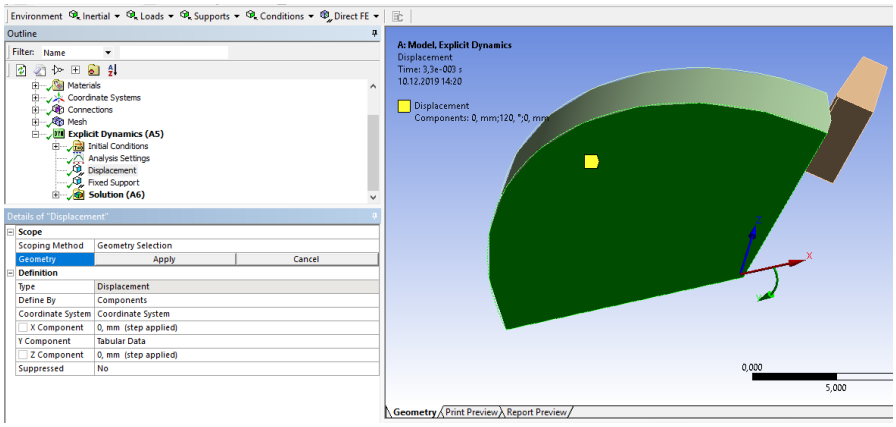


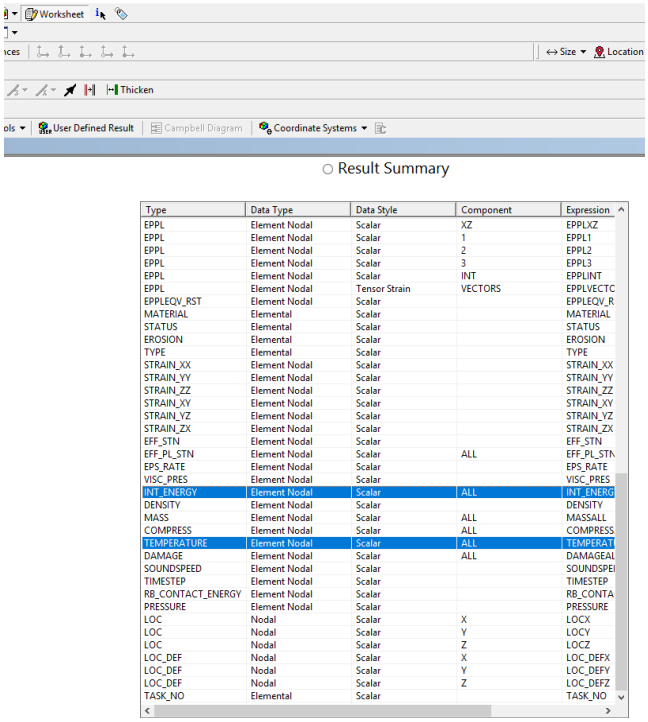
Рисунок 4 – Условия закрепления и движения заготовки

Tabular Data

	Steps	Time [s]	X [mm]	Y [°]	Z [mm]
1	1	0,	0,	0,	0,
2	1	3,3e-003	= 0,	120,	= 0,
*					

Рисунок 5 – Задание вращения заготовки

4. Описана процедура вывода интересующих результатов, в том числе нестандартных для данного типа анализа. Так как особый интерес вызывают теплофизические свойства процесса, а очевидными средствами получить такие свойства как температура или энергия нельзя. Описан процесс получения этих свойств при помощи раздела worksheet (рис. 6).



Type	Data Type	Data Style	Component	Expression
EPPL	Element Nodal	Scalar	XZ	EPPLXZ
EPPL	Element Nodal	Scalar	1	EPPL1
EPPL	Element Nodal	Scalar	2	EPPL2
EPPL	Element Nodal	Scalar	3	EPPL3
EPPL	Element Nodal	Scalar	INT	EPPLINT
EPPL	Element Nodal	Tensor Strain	VECTORS	EPPLVECTC
EPPLEQV_RST	Element Nodal	Scalar		EPPLEQV_R
MATERIAL	Elemental	Scalar		MATERIAL
STATUS	Elemental	Scalar		STATUS
EROSION	Elemental	Scalar		EROSION
TYPE	Elemental	Scalar		TYPE
STRAIN_XX	Element Nodal	Scalar		STRAIN_XX
STRAIN_YY	Element Nodal	Scalar		STRAIN_YY
STRAIN_ZZ	Element Nodal	Scalar		STRAIN_ZZ
STRAIN_XY	Element Nodal	Scalar		STRAIN_XY
STRAIN_YZ	Element Nodal	Scalar		STRAIN_YZ
STRAIN_ZX	Element Nodal	Scalar		STRAIN_ZX
EFF_STN	Element Nodal	Scalar		EFF_STN
EFF_PL_STN	Element Nodal	Scalar	ALL	EFF_PL_STN
EPS_RATE	Element Nodal	Scalar		EPS_RATE
VISC_PRES	Element Nodal	Scalar		VISC_PRES
INT_ENERGY	Element Nodal	Scalar	ALL	INT_ENERG
DENSITY	Element Nodal	Scalar		DENSITY
MASS	Element Nodal	Scalar	ALL	MASSALL
COMPRESS	Element Nodal	Scalar	ALL	COMPRESS
TEMPERATURE	Element Nodal	Scalar	ALL	TEMPERATI
DAMAGE	Element Nodal	Scalar	ALL	DAMAGEAL
SOUNDSPEED	Element Nodal	Scalar		SOUNDSPEI
TIMESTEP	Element Nodal	Scalar		TIMESTEP
RB_CONTACT_ENERGY	Element Nodal	Scalar		RB_CONTA
PRESSURE	Element Nodal	Scalar		PRESSURE
LOC	Nodal	Scalar	X	LOCX
LOC	Nodal	Scalar	Y	LOCY
LOC	Nodal	Scalar	Z	LOCZ
LOC_DEF	Nodal	Scalar	X	LOC_DEFX
LOC_DEF	Nodal	Scalar	Y	LOC_DEFY
LOC_DEF	Nodal	Scalar	Z	LOC_DEFZ
TASK_NO	Elemental	Scalar		TASK_NO

Рисунок 6 – Вывод дополнительных параметров результатов

5. Дано разъяснение результатов после решения поставленной задачи. В результатах анализа можно вывести множество параметров и зависимостей, одной из искомых зависимостей представлена на графике рис. 7 (распределение температуры на заготовке во времени).

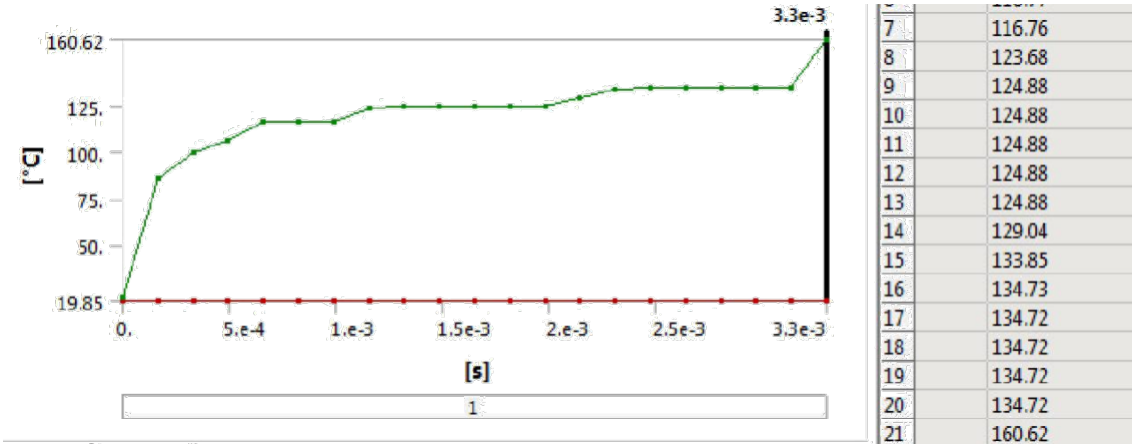


Рисунок 7 – График распределения температуры

Разработанная методика проведения конечно-элементного анализа дает возможность моделировать процесс токарной обработки и получать необходимые результаты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Овсеенко Е.С.* Обеспечение качества изготовления маложестких деталей типа дисков газотурбинных установок за счет снижения технологических остаточных деформаций: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2011. – 144 с.
2. *Болотеин А.Н.* Расчётное определение технологических остаточных напряжений на основе конечно-элементной модели процесса резания: дис. ... канд. техн. наук. – Рыбинск, 2014.
3. *Куренков А.В.* Численное моделирование процессов резания / А.В. Куренков, А.Ю. Шурыгин. - НГТУ, 2017.
4. LS-DYNA конечно элементный анализ: [Электронный ресурс]. lsdyna.ru (Дата обращения 10.12.2019).
5. CAE EXPERT: [Электронный ресурс]. cae-expert.ru/product/ansys-explicit-dynamics (Дата обращения 10.12.2019).
6. Википедия, свободная энциклопедия: [Электронный ресурс]. ru.m.wikipedia.org/wiki (Дата обращения 10.12.2019).
7. CAE EXPERT: [Электронный ресурс]. cae-expert.ru/product/ansys-mechanical (Дата обращения 10.12.2019).
8. *Бруяка В.А.* Инженерный анализ в ANSYS Workbench: Учеб. пособ. / В.А. Бруяка, В.Г. Фокин и др. - Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – 271 с.

УДК 621.9:681.5

МИШИН А.Н.
Санкт-Петербургский горный университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Аннотация. В статье рассмотрены основные виды нейронных сетей, отмечены основные направления автоматизации и методы их реализации в различных сферах машиностроительного производства. Указано, что использование нейросетей представляет определенные сложности по причине малого использования данной технологии в промышленности, что может вызвать непредвиденные ошибки, а также сложности самой технологии и необходимости наличия нужного оборудования и персонала. Предложены теоретические проекты для демонстрации возможностей данной технологии.

Ключевые слова: автоматизация машиностроительных производств, нейронные сети, машинное обучение.

MISHIN A.N.
Saint-Petersburg Mining University

USE OF NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES FOR AUTOMATION OF PROCESSES IN MECHANICAL ENGINEERING

Annotation. The main types of neural networks are considered. The main directions of automation and methods for their implementation in various areas of engineering production are noted. It is indicated that the use of neural networks presents certain difficulties due to the small experience of use of this technology in industry, which can cause unforeseen errors, as well as the complexity of the technology and the need for the necessary equipment and personnel. Theoretical projects are proposed to demonstrate the capabilities of this technology.

Key words: automation of engineering industries, neural networks, machine learning.

В настоящее время большинство изделий и задач в машиностроении выполняются при помощи различных пакетов CAD/CAE/CAM/PDM-систем, позволяющих автоматизировать большинство этапов конструкторско-технологической подготовки производства. В дополнении со станками с числовым программным управлением (CNC) большая часть производственных задач, связанных с рутиной работой облегчается, позволяя сократить время на разработку и выпуск готового изделия. Однако, когда необходимо создать новую документацию на изделие или внести изменения в действующую документацию, то приходится настраивать и программировать данные средства автоматизации заново, что не позволяет оперативно наладить выпуск нового изделия [1, 2].

Целью статьи является рассмотрение возможности увеличения программной и автоматической гибкости машиностроительного производства по средствам использования нейронных сетей и машинного обучения на различных этапах производства.

Рассмотрим общий механизм работы нейронных сетей и их особенности.

Нейронные сети не программируются в привычном смысле этого слова, они

обучаются. Возможность обучения — одно из главных преимуществ нейронных сетей перед традиционными алгоритмами. Технически обучение заключается в нахождении коэффициентов связей (весов) между нейронами. Веса зачастую отображают посредством коэффициентов от 0 до 1 степень влияния одного нейрона на другие. В процессе обучения нейронная сеть способна выявлять сложные, не всегда заметные или на первый взгляд нелогичные зависимости между входными данными и выходными, а также выполнять обобщение или предсказание. Это значит, что в случае успешного обучения сеть сможет вернуть верный результат на основании данных, которые отсутствовали в обучающей выборке, а также неполных или частично искажённых данных. В таком случае сеть выдаст коэффициент предположения от 0 до 1, то есть вероятность того, что это и есть правильный ответ [3, 4, 5].

Рассмотрим схему простой нейросети (рис. 1).

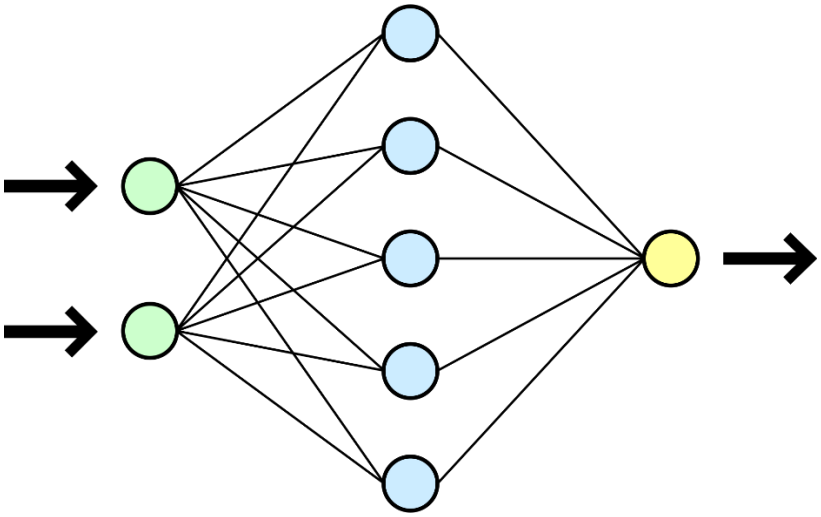


Рисунок 1 - Схема простой нейросети:
Зелёным цветом обозначены входные нейроны, голубым - скрытые нейроны, жёлтым - выходной нейрон

Нейронная сеть представляет собой систему соединённых и взаимодействующих между собой простых так называемых искусственных нейронов. Каждый нейрон подобной сети имеет дело только с сигналами, которые он периодически получает, и сигналами, которые он периодически посылает другим нейронам. И, тем не менее, будучи соединёнными в достаточно большую сеть с управляемым взаимодействием, обучением, достаточным количеством скрытых слоев и правильно расставленными весами, такие по отдельности простые нейроны вместе способны выполнять довольно сложные задачи. На практике они используются в большинстве крупных международных компаний в различных отраслях, начиная обработкой огромных массивов данных в экономической сфере до сложнейших тензорных расчетов в CERN (Европейская организация по ядерным исследованиям, крупнейшая в мире лаборатория физики высоких энергий)

В реальных задачах такие сети могут состоять из миллиона нейронов и состоят их множества слоев, что негативно сказывается на простоте восприятия информации и поиске ошибки человеком. В противовес сложности можно поставить обучаемость таких моделей. Обучение таких сетей и есть их главное преимущество, оно позволяет с их помощью решать задачи, на которое обычное ПО неспособно в следствии их «узкого» назначения, что увеличивает программную гибкость. Также модель способна к самокорректировке, что исключает возникновение случайных или вызванных программистом ошибок [1, 2, 6, 7].

Такая программная гибкость обусловлена тем, что для решения задач машинного обучения используется графический процессор (GPU) в связке с CUDA (CUDA — программно-аппаратная архитектура параллельных вычислений, которая позволяет существенно увеличить вычислительную производительность благодаря использованию графических процессоров фирмы Nvidia) вместо центрального процессора. Из-за разницы в архитектурах (рис. 2) GPU позволяет за счет гораздо большего количества ядер проводить большое количество параллельных вычислений, увеличивая в разы скорость и объем вычислений [1, 2, 3].

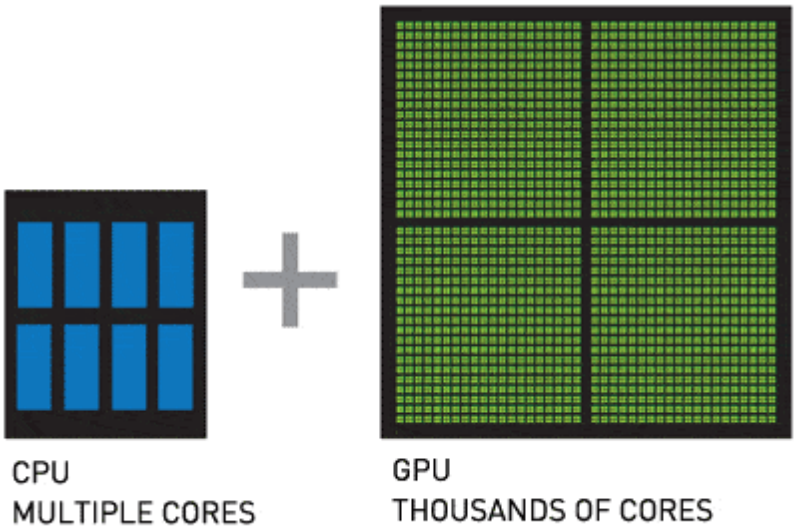


Рисунок 2 - Разница архитектур CPU и GPU

Рассмотрим основные инструменты нейронных сетей, которые можно использовать в машиностроительном производстве.

Распознавание образов и классификация.

В качестве образов могут выступать различные по своей природе объекты: символы текста, изображения, образцы звуков и т.д. При обучении сети предлагаются различные образцы образов с указанием того, к какому классу они относятся. Образец, как правило, представляется как вектор значений признаков. При этом совокупность всех признаков должна однозначно определять класс, к которому относится образец. В случае, если признаков недостаточно, сеть может соотнести один и тот же образец с несколькими классами, что неверно. По окончании обучения сети ей можно предъявлять неизвестные ранее образы и получать ответ о принадлежности к определённому классу [3, 4, 5].

Топология такой сети характеризуется тем, что количество нейронов в выходном слое, как правило, равно количеству определяемых классов. При этом устанавливается соответствие между выходом нейронной сети и классом, который он представляет. Когда сети предъявляется некий образ, на одном из её выходов должен появиться признак того, что образ принадлежит этому классу. В то же время на других выходах должен быть признак того, что образ данному классу не принадлежит. Если на двух или более выходах есть признак принадлежности к классу, считается, что сеть «не уверена» в своём ответе [1, 4, 5, 6].

Используемые архитектуры нейросетей:

- Обучение с учителем;
- Перцептрон;
- Сверточные нейронные сети;
- Обучение без учителя;

- Сети адаптивного резонанса;
- Смешанное обучение;
- Сеть радиально-базисных функций.

Принятие решений и управление.

Эта задача близка к задаче классификации. Классификации подлежат ситуации, характеристики которых поступают на вход нейронной сети. На выходе сети при этом должен появиться признак решения, которое она приняла. При этом в качестве входных сигналов используются различные критерии описания состояния управляемой системы [2, 6].

Используемые архитектуры нейросетей:
- Обучение с учителем;
- Перцептрон;
- Глубокие нейросети;
- Смешанное обучение;
- Сеть радиально-базисных функций.

Прогнозирование.

Способности нейронной сети к прогнозированию напрямую следуют из её способности к обобщению и выделению скрытых зависимостей между входными и выходными данными. После обучения сеть способна предсказать будущее значение некой последовательности на основе нескольких предыдущих значений и (или) каких-то существующих в настоящий момент факторов. Следует отметить, что прогнозирование возможно только тогда, когда предыдущие изменения действительно в какой-то степени предопределяют будущие [3, 6].

Используемые архитектуры нейросетей:
- Обучение с учителем;
- Перцептрон;
- Смешанное обучение;
- Сеть радиально-базисных функций.

Анализ данных.

Использование технологий и решений в сфере Data science и Data engineering для обработки больших массивов данных и нахождения зависимостей в них.

Используемые архитектуры нейросетей:
- Обучение с учителем;
- Обучение без учителя;
- Перцептрон;
- Самоорганизующаяся карта Кохонена;
- Нейронная сеть Кохонена.

Оптимизация.

Используемые архитектуры нейросетей:
- Обучение без учителя:
- Самоорганизующаяся карта Кохонена;
- Нейронная сеть Кохонена.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мюллер А.* Введение в машинное обучение с помощью Python. Руководство для специалистов по работе с данными / А. Мюллер, С. Гвидо, 2019.
2. *Шарден Б.* Крупномасштабное машинное обучение вместе с Python. - ДМК Пресс, 2018.
3. *Нишант Ш.* Машинное обучение и TensorFlow, 2017.
4. *Крысова И.В.* Методы распознавания графических образов для решения задач автоматизиронного проектирования / И.В. Крысова, И. Л. Чулкова.

5. *Крысова И.В.* Обработка изображений с помощью нейронных сетей / И.В. Крысова, С.В. Пасечник, П.С. Бугаенко // XXXIX Гагаринские чтения. Научные труды молодёжной научной конференции. Том 4. – М.: МАТИ, 2013. – С. 144-146.
6. *Луис П.К.* Построение систем машинного обучения на языке Python, 2018.
7. *Свейгар Э.* Автоматизация рутинных задач с помощью Python: практическое руководство для начинающих,. 2019.

УДК 621.9.04

МИШИН В.В.
Санкт-Петербургский горный университет

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МИКРОГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТИ ШТОКА ГИДРОЦИЛИНДРА НА ОСНОВЕ ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация. В представленной статье рассматривается метод локального лазерного воздействия, позволяющий технологически обеспечить шероховатость поверхности детали «шток». Выбор данного метода обусловлен эффектом шаржирования, которое возникает при финишной операции шлифования. Вкрапленные абразивные частицы на этапе эксплуатации вызовут интенсивный износ контактных поверхностей, что приведёт к преждевременному выходу из строя гидроцилиндра. В связи, с чем предложен новый подход к достижению необходимой шероховатости, основанный на подавлении вибраций при механической обработке посредством создания локальной неоднородной структуры. На стадии механической обработки произойдёт разрушение неоднородной структуры в локальной области стружкообразования, подавляя вибрации и снижая шероховатость поверхности.

Ключевые слова: технологический процесс, локальное лазерное воздействие, технологическая система механической обработки, вибрации, шероховатость поверхности.

MISHIN V.V.
Saint-Petersburg Mining University

TECHNOLOGICAL PROVISION OF MICROGEOMETRIC SURFACE PARAMETERS OF A HYDROCYLINDER STOCK ON THE BASIS OF LASER TECHNOLOGIES

Abstract. In the presented article, it is proposed to provide the surface roughness of the "rod" part technologically by means of local laser action. The choice of this approach is due to the effect of caricature that occurs during the finishing operation of grinding. Embedded abrasive particles during operation will cause intensive wear of the contact surfaces, which will lead to premature failure of the hydraulic cylinder. In this connection, to avoid negative factors, a new approach is proposed to achieve the necessary surface roughness, based on the suppression of vibrations during machining by creating a local non-uniform structure. At the stage of mechanical processing, the heterogeneous structure will be destroyed in the local area of chip formation, thus suppressing vibrations and reducing the surface roughness.

Keywords: technological process, local laser exposure, technological system of mechanical processing, vibration, surface roughness.

На сегодняшний день в машиностроительной промышленности существуют проблемы в изготовлении широкого спектра прецизионных деталей [5, 12, 14]. Не исключением является и ответственная деталь «шток» силового гидроцилиндра (рис. 1). Это изделие выбрано не случайно, так как наибольшее количество сбоев в работе (порядка 70%) приходится на данную деталь.

Сбои в работе происходят по причине разрушения уплотнительной системы штока, приводящей к разгерметизации силового гидроцилиндра. Нарушение герметизирующей способности непосредственно связанно технологической подготовкой поверхности детали «шток» на стадии изготовления, не смотря на то, что к описываемому изделию предъявляются повышенные требования по шероховатости поверхности и точности формы [2, 11].

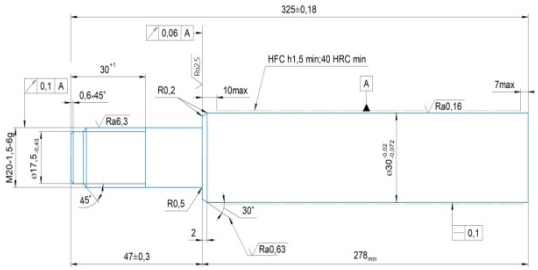


Рисунок 1 - Эскиз детали «шток» силового гидроцилиндра

Шероховатость поверхности не отвечает заданным стандартам по ряду причин. Одной из них является высокая пластичность обрабатываемых сталей [4, 9], приводящая к увеличению интенсивности амплитуды вибраций из-за периодического изменения сил резания и его двузначности, повышения контактного трения между стружкой и инструментом, а также её налипания на режущей кромке [1, 3, 10]. Помимо этого, финишная круглошлифовальная операция приводит к возникновению эффекта шаржирования, заключающегося в насыщении поверхности абразивными микрочастицами. Шаржированная поверхность в процессе эксплуатации будет способствовать интенсивному износу уплотнительной системы детали «шток»,что приведёт к разгерметизации и преждевременному выходу из строя гидроцилиндра.

Одним из возможных путей решения вышеописанных проблем является подавление вибраций при механической обработке через подсистему «заготовка» путем воздействия локальным лазерным излучением [13, 15]. Для этих целей применяется иттербиевый волоконный лазер с непрерывным режимом излучения мощностью 5 kW.

На первом этапе формируется локальная неоднородная структура I на поверхности обрабатываемой заготовки стали 45 (рис. 2), отличающаяся от основного металла II по механическим свойствам [7]. В результате фазовых превращений неоднородная структура обладает повышенной дефектностью и склонностью к хрупкому разрушению, по сравнению с основным металлом [6, 8].

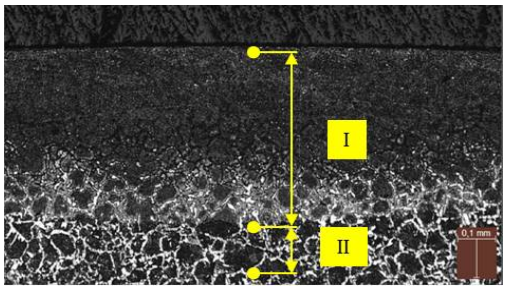


Рисунок 2 - Сформированная неоднородная структура, где режимы лазерной обработки: P = 2,5 кВт; V_l = 2000 мм/мин; d_s = 4 мм

В задачу второго этапа входили опытные испытания механической обработки заготовки с локальной неоднородной структурой. Таким образом, для чистовой обработки результаты проведенного экспериментального исследования представлено на осциллограмме (рис. 3).

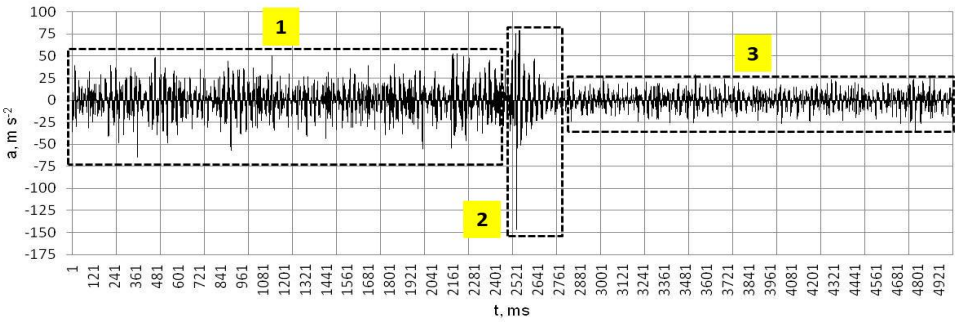
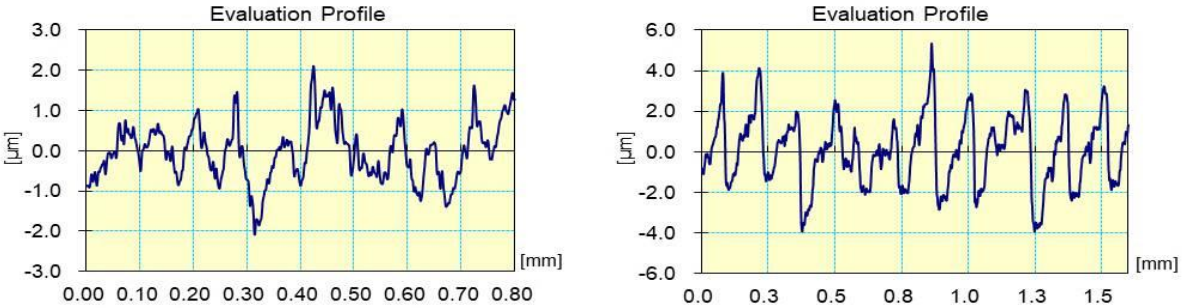


Рисунок 3 – Виброускорения при обработке заготовки с неоднородной структурой при режимах V = 160 м/мин, S = 0.1 мм/об, t = 0.2 мм

Полученные осциллограммы интерпретируются следующим образом. При вхождении инструмента в заготовку возникают вибрации 1, которые сопровождаются

повышением амплитуды. Предлагаемый метод позволяет на короткое время разорвать фрикционную связь, осуществляемую через стружкообразование, между подсистемами «инструмент» - «заготовка», что позволяет диссипировать накопившуюся энергию вибраций в технологической системе 2. Последующая механическая обработка находится в диапазоне установившихся амплитуд колебательного процесса участок 3.

Шероховатость поверхности измерялась профилометром модели Surftest SJ-210. Полученные экспериментальные исследования представлены в виде профилограмм обработанных поверхностей детали «шток», после чистовой операции (рис. 4, *а, б*).



а - С ЛЛВ - R_a = 0.57µm *б* - Без ЛЛВ - R_a = 1.373 µm

Рисунок 4 - Профилограммы шероховатости поверхности после обработки с использованием метода ЛЛВи без него

По окончанию опытных испытаний, на профилограммах отчетливо прослеживается тенденция снижения микрогеометрических показателей поверхности при использовании метода предварительного локального лазерного воздействия. Помимо этого параллельно решается задача по сегментации сливной стружки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ершов Д.Ю.* Причины возникновения динамических процессов в технологических системах механической обработки / Д.Ю. Ершов, И.Н. Лукъяненко // Journal of advanced research in technical science. - 2017. - № 4. – С. 39-43.
2. *Ефимов А.Е.* Совершенствование технологии механической обработки титановых сплавов посредством применения предварительного пластического воздействия / А.Е. Ефимов, В.В. Максаров, А.Ю. Важенин // Металлообработка. - 2019. - № 3. – С. 20-26.
3. *Злотников Е.Г.* Современные технологии переработки и брикетирования металлической стружки в автоматизированных производствах / Е.Г. Злотников, В.В. Максаров // Записки Горного института. - 2019. - Т. 209. – С. 37-41.
4. *Кексин А.И.* Технологические особенности магнитно-абразивной обработки в условиях цифровых технологий / А.И. Кексин, В.В. Максаров, И.А. Филипенко // Металлообработка. - 2019. - № 4. Т 112. – С. 3-10.
5. *Кексин А.И.* Технологическое обеспечение шероховатости резьбовых поверхностей посредством предварительного магнитно-абразивного полирования метчика / А.И. Кексин, В.В. Максаров // Металлообработка. - 2018. - № 2. – С. 35-40.
6. *Красный В.А.* Применение метода направленного затвердевания для повышения качества трубчатых заготовок из различных чугунов / В.А. Красный, В.Ф. Бевза, В.П. Груша // Металлург. - 2018. - № 6. - С. 36-44.
7. *Красный В.А.* Совершенствование структуры и свойств заготовок деталей горного и нефтеперерабатывающего машиностроения из чугуна «нирезист» / В.А. Красный, В.Ф. Бевза, В.П. Груша // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2018. - № 2. - С. 156-167.
8. *Красный В.А.* Триботехнические характеристики деталей горных машин с регулярной микрогеометрией поверхности / В.А. Красный, В.В. Максаров // Металлообработка. - 2016.

- № 1. - С. 29-35.
9. *Максаров В.В*. Технологическое обеспечение шероховатости поверхностного слоя на основе моделирования переходных процессов / В.В. Максаров, Р.В. Вьюшин, А.Е. Ефимов // Металлообработка. - 2017. - №2. - С. 39–45.
10. *Максаров В.В*. Технологическое повышение качества сложнопрофильных поверхностей методом магнитно-абразивного полирования / В.В. Максаров, А.И. Кексин // Металлообработка. - 2017. - №1 (97) . - С. 47–57.
11. *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. - № 1 (40) . - С. 263-268.
12. *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. 142–145.
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. - 2017. - С. 302-305.
14. *Максаров В.В.* Технологическое обеспечение качества направляющих металлорежущих станков / В.В. Максаров [и др.] // Металлообработка. - 2019. - № 112. Т 4. – С. 59-67.
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. - № 8. Т 1. – С. 56-64.

УДК 62-233.3/9: 621.2.082.18

МОРАЛЕС К.А.Й.
Санкт-Петербургский горный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗНОСА ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ РОТАЦИОННОГО РАСХОДОМЕРА ВОДЫ

Аннотация. Рассмотрены требования, предъявляемые к обеспечению точности измерений расходомера воды роторного типа. Представлена методика измерения износа зубчатой пары расходомера. Показано влияние износа зубчатой передачи на точность измерений расходомера воды. Отмечена необходимость проведения технологических мероприятий для повышения износостойкости и коррозионной стойкости зубчатой передачи расходомера.

Ключевые слова: расходомер воды роторного типа; зубчатая передача, износостойкость; коррозионная стойкость.

MORALES C.A.YO.
Saint-Petersburg Mining University

GEAR WEAR STUDY MEASUREMENT ACCURACY OF A ROTARY WATER METER

Abstract. The requirements to ensure the accuracy of measurement of the rotary type water meter are considered. The procedure of measuring the wear of the toothed pair of the flowmeter is presented. Influence of gear wear on the accuracy of water meter measurements is shown. The necessity of carrying out technological measures to increase wear resistance and corrosion resistance of tooth gearing of the flowmeter is noted.

Keywords: rotary water flowmeter; gear transmission, wear resistance; corrosion resistance.

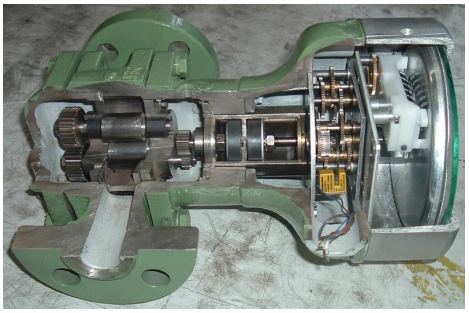
Повышение износостойкости деталей машин является важной задачей, решаемой в большинстве случаев с помощью различных технологических мероприятий, основанных на совершенствовании технологии их изготовления, применяемых материалов, нанесении износостойких покрытий и т.п. [1-11].

В условиях Республики Куба серьезное внимание уделяется внедрению учета промышленного водопотребления и совершенствованию конструкций расходомеров воды.

Конструкции расходомеров развивалась поэтапно, при этом значительные вариации позволили провести их широкую классификацию, однако все они работают по гидродинамическим принципам. Два параметра, которые оценивают хорошее техническое состояние расходомера, - это точность и повторяемость выполненных измерений, при этом международные стандарты допускают относительную погрешность в диапазоне ± (0,1 и 5) % от измеряемой величины с учетом типа расходомера. Погрешность повторения результата обычно должна быть меньше или равна одной трети допустимой погрешности для каждого типа расходомеров. Тем не менее, ротационные расходомеры (рис.1, а), используемые в коммерческих операциях, допускают ± 0,5 % в качестве относительной погрешности и не более 0,166 % погрешности повторяемости - значения, которые могут быть изменены в связи с износом их деталей.

Зубчатые передачи являются критическими узлами при конструировании и

эксплуатации ротационных расходомеров, а их размерные погрешности, характерные для технологических процессов производства и износа, отражаются в результатах измерений, проведенных с их помощью (рис. 1, б). Разделение частей расходомеров из-за их допусковых значений позволяет пропускать жидкости с определенной вязкостью при скоростях ниже тех, которые необходимы для перемещения измерительных узлов счетчика. Это подразумевает наличие минимальных и максимальных пределов скорости, температуры, вязкости и давления жидкости. Они должны синхронизировать скорость жидкости с регистратором количества и расходомером, и зазор, определенный производителем, который играет в этом случае существенную роль.



а

б

Рисунок 1 – Расходомер:
а) – Расходомер роторного типа; б) – Зубчатая передача расходомера

Недостаточная очистка подаваемой воды и наличие абразивных элементов наряду с коррозионной составляющей, приводят к преждевременному износу зубчатой пары привода расходомера и снижению точности измерений. Возникающий люфт привносит недостаточную точность в движение шестерни, так как существуют небольшие промежутки времени, во время которых нет соприкасающейся пары зубьев. По этой причине, если требуются высокоточные механизмы, то в процессе производства зазоры необходимо минимизировать или устранить. С другой стороны, для зубчатых передач, передающих значительную мощность, потери КПД приводят к повышению рабочей температуры, в этом случае необходимо проектировать зубчатые передачи с достаточно большим люфтом, чтобы предотвратить расширение зубчатых передач от блокировки механизма [12, 13]. На рис. 2 показан тип регулировки зубчатой пары, которую нужно выполнять с учетом зазора между зубьями.

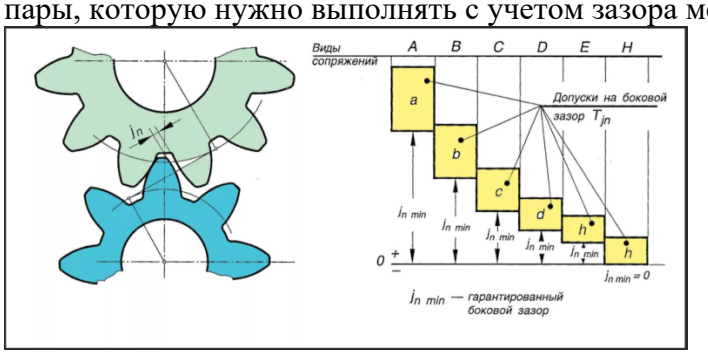


Рисунок 2 – Схема регулирования зазора зубчатой пары

Из-за производственных неточностей и деформаций передающих элементов нагрузки по контактным линиям распределены неравномерно и сконцентрированы вблизи вершин зубьев. По этой же причине изменяется шаг между зубьями, при соприкосновении зубьев возникают дополнительные динамические нагрузки, создавая неритмичность работы передачи, изменяются мгновенные значения передаточного отношения, производятся шумы и вибрации, снижается способность передавать полезную нагрузку. В результате ведомая шестерня вращается неравномерно по отношению к постоянной скорости движения ведущей. Происходят два вида ударов, когда край головки ведомого колеса без временного соприкосновения с ножкой зуба у ведущей, и когда пара зубьев окончательно зажата из-за зазора между ними. Первый

удар происходит по первому краю, второй в середине зуба.

Так как зубья шестерни должны двигаться, важно, чтобы ширина зубьев была немного меньше зазора между зубами, т.е. чтобы между зубьями двух контактных шестерен был зазор. Наличие этой разницы в размерах означает, что в момент изменения направления вращения зуб, соответствующий ведущей шестерне, будет перемещать зазор до того, как он коснется зуба нагрузочной шестерни, и что, если погрешность положения меньше, чем зазор, ее нельзя будет исправить. Этот эффект не является существенным, когда система находится в непрерывном движении в течение относительно длительных промежутков времени, но он определяет абсолютный предел точности позиционирования, который может быть достигнут при использовании данной зубчатой системы [14].

В этом смысле характеристики циклоидных и овальных расходомеров заключаются в том, что их передаточный момент постепенно чередует моторную функцию до такой степени, что при переходе обе перекрывают друг друга. Несмотря на то, что они поддерживают направление вращения и усилие крутящего момента, этот процесс обусловлен массой жидкости, воздействующей на каждое колесо, и положением колес по отношению к этой силе. В результате колеса перемещаются на расстояние, равное расстоянию между зубьями, и этот процесс повторяется при каждом половинном вращении. В результате скорость вращения ведущего колеса ниже средней скорости жидкости и, как следствие, регистрация измеренных величин ниже реального значения. С другой стороны, зубья шестерни изнашиваются неравномерно, так что шаг шестерни изменяется неравномерно и соответственно изменяется величина зазора и частота вращения колеса. В то же время, возникающее давление в жидкости имеет два эффекта: во-первых, зазоры между механизмом и контркамерой заставляют жидкость проникать от входа до выхода без регистрации ее количества, что зависит от уплотнения устройства, а также от износа между фрикционными частями. Во-вторых, для создания необходимого крутящего момента на валах для приведения в действие счетного механизма. Под такой ситуацией понимается определенное количество жидкости, не учтенное из-за технического состояния прибора.

Пара шестерен постепенно чередует функции привода. Рабочий цикл расходомера с овальными шестернями показан на рис. 3. Понятно, что поток жидкости производит вращение колес на их редукторных валах, которые достигают периферийной скорости, пропорциональной потоку.

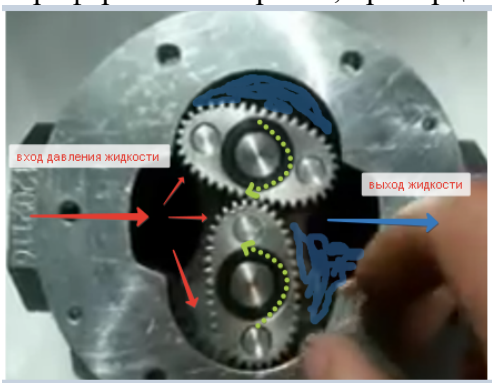


Рисунок 3 - Схема работы ротационного расходомера

При разработке данного исследования в качестве объектов использовались два циклоидных счетчика, которые в процессе обслуживания и калибровки не показывали метрологических результатов в допустимых пределах. Они должны иметь относительную погрешность измерения менее ± 0,2% и повторяемость 0,06%. Оценка результатов калибровки предполагает, что механизмы должны быть тщательно изучены в ходе технического обслуживания. Было отмечено, что основные требуемые показатели не соблюдаются, и была проведена оценка зубчатых передач. Для этого достаточно было измерить зубы шестерни с помощью стандартного датчика (штангенциркуля).

Каждая пара колес была разделена на 8 секторов по 5 зубьев и 4 пространства, так что выборка составила 20 процентов от общего количества зубьев. Соответствующие расстояния с каждым сектором проверяются штангенциркулем и сравниваются с опорным значением, рассчитанным по методике [15]. Для получения

данных каждый сектор был измерен в трех областях длины зуба, в центре и примерно в 5 миллиметрах с обоих концов. В результате произведенных измерений было установлено, что зазор увеличивается с увеличением износа до значений, превышающих допустимые для точности передачи.

Результаты измерений показали, что оценочное значение зазора между зубами характеризуется нерегулярным проявлением, что, в свою очередь, указывает на нерегулярность износа зубьев зубчатых пар. В целом оценки ведут себя в пределах технических пределов, однако в секторах 1 и 2 счетчика они выходят за допустимые пределы. Эти элементы указывают на неповторяемость результатов калибровки, хотя и не являются неоспоримыми. По этой причине был проведен расширенный визуальный осмотр состояния поверхности зуба с целью выявления дальнейших физических эффектов.

Результаты исследования позволяют сделать вывод о значительном влиянии износа зубьев зубчатой передачи на точность измерений ротационного расходомера волы. В связи с этим представляется весьма важным решение задачи повышения износостойкости и коррозионной стойкости зубчатой пары расходомера роторного типа технологическими методами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Maksarov V.V.* Increase of wear resistance of friction down hole oil pumps with seals of directionally reinforced polymer composizioni materials / V.V. Maksarov, V.A. Krasnyy // Chemical and Petroleum Engineering. - 2017. - T. 53 (1). - P. 121–125.

2. *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.

3. *Красный В.А.* Триботехнические характеристики деталей горных машин с регулярной микрогеометрией поверхности / В.А. Красный, В.В. Максаров // Металлообработка. - 2016. - № 1 (91). - С. 29-35.

4. *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. - 27. - C. 151-156.

5. *Красный В.А.* Оценка влияния шероховатости поверхности на повышение прочности сцепления износостойкого напыляемого покрытия / В.А. Красный, В.В. Максаров // Металлообработка. - 2014. - №5. - С. 47-51.

6. *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.

7. *Максаров В.В.* Технологические особенности магнитно-абразивной обработки в условиях цифровых технологий / В.В.Максаров [и др.] // Металлообработка. - 2019. - № 4 (112). - С. 3-10.

8. *Максаров В.В.* Технологическое обеспечение качества направляющих металлорежущих станков / В.В. Максаров [и др.] // Металлообработка. - 2019. - № 4 (112). - С. 59-67.

9. *Ershov D.Y.* Own fluctuations of technological systems / D.Y. Ershov, E.G. Zlotnikov, B. Nestorovski // Journal of Physics: Conference Series. - 2019. - 22055.

10. *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.

11. *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.
12. *Гулиа Н.В.* Детали машин / Н.В. Гулиа, В.Г. Клоков, С.А. Юрков. - СПб.: Лань, 2013. - 416 с.
13. *José María Rico Martínez* Backlash: Juego entre dientes de Engrane. Departamento de Ingeniería Mecánica. Campus Irapuato-Salamanca Universidad de Guanajuato E-mail: jrico@ugto.mx.http://www.dicis.ugto.mx/profesores/chema/documentos/Análisis%20y%20Síntesis%20de%20Mecanismos/Engranes%20y%20Trenes%20de%20Engranes/Backlash.pdf
14. Qué es el Backlash y cómo detectarlo en tu máquina CNC? https://www.youtube.com/watch?v=ZbQAXWBh7ck
15. En el caso ideal el motor es capaz de operar eficientemente en el rango par-velocidad requerido por la carga, y el acople es simplemente un eje que los conecta. Acople con rueda dentada.https://docplayer.es/81189589-En-el-caso-ideal-el-motor-es-capaz-de-operar-eficientemente-en-el-rango-par-velocidad-requerido-por-la-carga-y-el-acople-es-simplemente-un-eje-que.html.

УДК 622.331

МУРАШЕВ А.А.
Тверской государственный технический университет

МОБИЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Аннотация. В данной работе рассмотрены аспекты применения мобильного комплекса с использованием альтернативных источников энергии.

Ключевые слова: мобильный комплекс, альтернативные источники энергии, энергия солнца.

MURASHEV A.A.
Tver State Technical University

A MOBILE COMPLEX WITH THE USE OF ALTERNATIVE RENEWABLE ENERGY SOURCES

Abstract. In this paper, the aspects of using a mobile complex using alternative energy sources are considered.

Keywords: mobile complex, alternative energy sources, solar energy.

Последние годы все активнее в России обсуждаются вопросы обеспечения устойчивости развития на основе бережного расходования имеющихся ресурсов, рационального природопользования, экологической безопасности производства и т.д. Наиболее активно исследуются вопросы обеспечения рационального расходования природных ресурсов,энергосбережения и поиска новых источников энергии, экологической безопасности производства [1-10].

Особенно остро эти вопросы поднимаются в удаленных от центрального тепло и электроснабжения регионах (Северный Кавказ, Краснодарский край, Юг Сибири, Дальний Восток, Центральные районы и др.) [11-14].

Решением данной проблемы может стать внедрение в мобильные комплексы оборудования, генерирующего возобновляемую энергию, в частности энергию солнца, что в свою очередь позволит сократить расходы на привозное сырье, а также поспособствует одновременной работе всех видов топлива.

В таких комплексах модули из гелиосистем будут иметь успех, так как в регионах, сжигается огромное количество твёрдого и жидкого топлива для обеспечения производственного и бытового электро- и теплоснабжения, как на начальном этапе (уголь, мазут, природный газ), так и в дальнейшей работе (древесное, торфодревесное сырье и биогаз). С приходом гелиосистем, можно решить раз и навсегда проблему обеспечения мобильных комплексов теплом и горячей водой на любом этапе производства.Также значительно снизится загрязнение региона и окружающей среды от сжигания твердого и жидкого органического топлива [15-20].

Данная работа выполнена под руководством профессора Зюзина Б.Ф.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Михайлов А.В.* Масштаб торфяного производства и комплектование оборудованием //

Процессы и средства добычи и переработки полезных ископаемых. Сборник трудов Междунар. научн.-техн. конфер. Минск 17-20 апреля.- 2012. - С. 63-67.
2. *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. -2014. – Vol. 2. - P.1243-1249.
3. *Mikhailov A.* Reclamation of Mine Tailings Using Natural Peat / Legislation, Technology and Practice of Mine Land Reclamation. Edited by Zhenqi Hu. Proceedings of the Beijing International Symposium Land Reclamation and Ecological Restoration, LRER 2014, Beijing, China, 16-19 October 2014, CRC Press. - 2014. - 363-369.
4. *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. - №14. - С. 82-91.
5. *Mikhailov A.* Peat fuel types for supply logistics / Proceedings of the 5th International International Carpathian Logistics Congress. November 4th - 6th 2015, Priessnitz Republic. – 2015. - P. 412-417.
6. *Mikhailov A*. Granulating of coal fines using peat / XVIII International Coal Preparation Congress, 28 June - 01 July 2016 Saint-Petersburg, Russia. Editors: Litvinenko, Vladimir (Ed.). Springer International Publishing. – 2016. – Vol. 2. - P. 719-725.
7. *Mikhailov A.V.* Excavating and loading equipment for peat mining / A.V. Mikhailov, A.I. Zhigulskaya, T.B. Yakonovskaya // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2017. - 022014.
8. *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. Edited by BehzadGhodrati, Uday Kumar, HåkanSchunnesson. Luleå University of Technology. - 2017. - P. 497-501.
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. – 206. - 668–675.
10. *Mikhailov A.V.* Preliminary study of tubular peat extrusion / *A.V. Mikhailov et al*. // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. – 2019. – 560. - 012061.
11. *Mikhailov A.V.* A potential application of in-pit crushing-conveying and dewatering system in peat mining / *A.V. Mikhailov et al*. // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – 378. - 012086.
12. *Mikhailov A.* An integrated approach to strip mining of peat / A. Mikhailov, A. Zhigulskaya and O.Garmaev // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. – 2019. - Vol. 378. - 012087.
13. *Mikhailov A.V.* The relationship between fractal properties and active porosity of peat compositions / A.V. Mikhailov, O.Z. GarmaevandA.S. Fedorov. // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. -2019. - Vol. 836. - P. 58-62.
14. *Яконовская Т.Б.* Комплекс машин для добычи и переработки торфодревесного сырья / Т.Б. Яконовская, А.И. Жигульская // Инновации на транспорте и в машиностроении: сборник трудов III международной научно-практической конференции. - СПб: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2015. – Т. II. - С. 76-79.
15. *Большунов А.В., Кремчеев Э.А., Михайлов А.В., Нагорнов Д.О.* Энергонезависимый технологический комплекс по производству продукции из торфа // Патент на изобретение RU 2529059. 2013.
16. *Жигульская А.И.* Новое оборудование и технологии комплексной безотходной добычи и переработки ресурсов торфяного месторождения. Учебное пособие (2-е издание, переработанное и дополненное) / А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовская //

Тверской государственный технический университет. - Тверь, 2016. – 160 с.
17. *Зюзин Б.Ф.* Горнопромышленный комплекс Тверского региона Российской Федерации: анализ развития / Б.Ф. Зюзин, А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовская // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Запада Восточно-Европейской платформы: проблемы изучения и рационального использования. Материалы Международной научной конференции, посвященной 215-летию со дня рождения И. Домейко. Под редакцией А.К. Карабанова. - 2017. - С. 148-151.
18. *Михайлов А.В.* Оценка этапов жизненного цикла разработки торфяного месторождения / А.В. Михайлов [и др.] // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Запада Восточно-Европейской платформы: проблемы изучения и рационального использования. Материалы Международной научной конференции, посвященной 215-летию со дня рождения И. Домейко. Под редакцией А.К. Карабанова. - 2017. - С. 196-199.
19. *Жигульская А.И.* Новая классификация средств комплексной механизации добычи и переработки торфодревесного сырья / А.И. Жигульская [и др.] // Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции. Отв. ред. В.В. Габов, Н.С. Голиков. - 2016. - С. 90-93.
20. *Шпынев В.М.* Новое оборудование и технология для обеспечения безопасных условий хранения торфодревесного сырья / В.М. Шпынев, М.А. Жигульский, А.И. Жигульская // Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции. Отв. ред. В.В. Габов, Н.С. Голиков. - 2016. - С. 94-96.

УДК 622-1/-9

МЯКОТНЫХ А.А.,
КНЯЗЬКИНА В.И.
Санкт-Петербургский горный университет

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ТРАНСМИССИОННОГО МАСЛА ПО ПАРАМЕТРАМ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Аннотация: работоспособность технологических машин зависит от качества рабочей жидкости, загрязнение которой приводит к интенсивному износу и последующему отказу элементов и узлов трансмиссий. На сегодняшний день распространенные методы оценки не позволяют определять загрязненность мгновенно, а дистанционные методы требуют установки дорогостоящих датчиков. Поэтому следует рассмотреть возможность оценки загрязненности масла по параметрам питания электропривода.

Ключевые слова: мотор-редуктор, градуировка, масло, рабочая жидкость, загрязненность масла, трансмиссия, шестеренный насос, эксперимент.

MYAKOTNYKH A.A.,
KNYAZKINA V.I.
Saint-Petersburg mining University

ASSESSMENT OF CONTAMINATION OF TRANSMISSION OIL FOR THE PARAMETERS OF THE ELECTRIC POWER

Abstract: workability of technological machines depends on the quality of working fluid, contamination of which leads to intensive wear and subsequent failure of elements and components of transmissions. To date, common assessment methods do not allow to determine contamination instantly, and remote methods require the installation of expensive sensors. Therefore, it is necessary to consider the possibility of evaluating the oil contamination by the drive power supply parameters.

Keywords: gear motor, graduation, oil, working fluid, oil contamination, transmission, gear pump, experiment.

Для технологических гидравлических машин требуются большие объемы рабочих жидкостей. После проведенного анализа эксплуатации трансмиссий технологических машин, известно, что работоспособность этих машин зависит от качества рабочей жидкости и ее загрязненности. При этом загрязнения абразивом и продуктами изнашивания рабочей жидкости трансмиссий приводит к интенсивному износу и последующему отказу элементов и узлов трансмиссий, контроль состояния таких рабочих сред долог и трудоемок.

На сегодняшний день наиболее распространенным способом оценки загрязненности масла является отбор проб, который требует регулярности проведения, включая соответствующие лабораторные исследования в специализированных лабораториях [1, 2]. Контроль загрязненности масла частицами износа физическими и физико-химическими методами влечет за собой большие издержки на оборудование и высококвалифицированный персонал, что является причиной не охотного распространения подобных методов на предприятиях, для которых наработка механизма – основной показатель [3].

Кроме пробоотбора и определения загрязненности через фильтр существуют

методы, с помощью которых можно определять загрязненность масла дистанционно. К таким средствам диагностики относятся: акустико-эмиссионная диагностика, вибрационная диагностика, оценка энергопотребления приводным двигателем, контроль температуры узлов трения. Для осуществления перечисленных методов контроля требуется предварительная установка в отдельных точках технологических машин датчиков и средств снятия с них необходимой информации дистанционно или непосредственно по физическим каналам связи, при этом, как датчики, так и соответствующие каналы чрезвычайно чувствительны к внешним воздействиям [4].

Как указывалось выше, для оценки состояния трансмиссии и, в частности, ее масла или рабочей жидкости в условиях эксплуатации можно проводить измерения параметров электропривода. При осуществлении такого способа диагностики основываются на предположении, что с повышением загрязненности рабочей жидкости трансмиссии из-за повышенного трения и величины износа взаимодействующих между собой элементов будет увеличиваться момент сопротивления и как следствие, будет возрастать ток и мгновенное значение мощности приводного электродвигателя.

Для оценки возможности такого контроля были проведены серии экспериментов на стенде гидравлической трансмиссии. Стенд включал дросселируемую гидравлическую магистраль замкнутого типа, где в качестве средства создания давления была применена насосная станция с шестеренным насосом типа НШ10. Контроль давления осуществлялся манометром. Привод насоса осуществлялся от многоскоростного мотор-редуктора модели UDD 1050M фирмы Hammer с электронным регулятором скорости вращения и ступенчатым изменением этого диапазона.

Для оценки фактических затрат мощности при изменении скоростного режима мотор-редуктора предварительно была проведена градуировка. На первом этапе были выбраны шесть скоростей вращения выходного вала мотор-редуктора, которые были замерены тахометром часового типа ТЧ10-Р. Угловые скорости в рад/с выходного вала мотор-редукторана холостом ходу составили: 30,89; 35,34; 40,97; 47,12; 53,8 и 60,2 [5, 6].

Для оценки полезной работы, совершаемой мотор-редуктором на указанных угловых скоростях вращения посредством мотор-редуктора, вертикально вверх перемещался мерный груз. Процесс подъема фиксировался на видеоноситель, одновременно с этим, в процессе эксперимента проводились измерения тока и мощности, подводимой к мотор-редуктору посредством энергомера МТ4014. С этой целью сам мотор-редуктор закреплялся в основании перегрузочной треноге ТП-500М на одной из ее стоек, на выходной вал мотор-редукторабыл установлен барабан с гибким элементом в виде троса, который, в свою очередь, был пропущен через шкив, закрепленный на рым-болте в верхней части треноги. Конец троса загружался мерными грузами.

В процессе проведения экспериментальных исследований были получены данные отличающиеся высокой степенью повторяемости, в связи с чем было принято решение о проведении серии из трех равноточных измерений на каждой из шести выбранных угловых скоростях и четырех нагрузках: холостом ходу, с грузом 3,5 Н, 30 Н и 95 Н. В дальнейшем указанные нагрузки были приведены к значению крутящего момента на валу мотор-редуктора при условии, что диаметр барабана составлял 0,08 м. В качестве истинных значений принималось среднее арифметическое трех равноточных измерений в каждой серии опытов. Обработка результатов осуществлялась в программе Microsoft Excel. Полученные результаты прямых измерений были аппроксимированы квадратичной функцией:

$$P(M) = 0{,}19M^2 + 4{,}45M + 85{,}99 \text{ при } \omega = 30{,}89 \text{ рад/с};$$

$$P(M) = 3{,}19M^2 + 21{,}56M + 108{,}3 \text{ при } \omega = 35{,}34 \text{ рад/с};$$

$$P(M) = 2{,}87M^2 + 54{,}14M + 166{,}68 \text{ при } \omega = 40{,}97 \text{ рад/с};$$
$$P(M) = 6{,}57M^2 + 74{,}37M + 238{,}98 \text{ при } \omega = 47{,}12 \text{ рад/с};$$
$$P(M) = 92{,}19M^2 - 6{,}26M + 363{,}2 \text{ при } \omega = 53{,}8 \text{ рад/с};$$
$$P(M) = 75{,}64M^2 + 59{,}70M + 419{,}6 \text{ при } \omega = 60{,}2 \text{ рад/с}.$$

Соответствующие графики представлены на рис.1.

Полученные таким образом градировочные графики позволяют оценивать величину полезной работы, совершаемой мотор-редуктором с электронным регулятором скорости вращения на различны фиксированных скоростях его работы непосредственно в заявленном эксперименте по оценке загрязнённости рабочей жидкости.

На втором этапе эксперимента насос гидравлической трансмиссии подключали к мотор-редуктору и обкатывали на чистом масле ТАД-17И на холостом ходу с открытым дросселем. При проведении эксперимента регистрировались параметры питания мотор-редуктора (сила тока и мощность) на каждой из шести, выше указанных фиксированных угловых скоростях. Для каждой скорости измерения проводились троекратно, за истинное значение принималось среднее арифметическое равноточных измерений

.

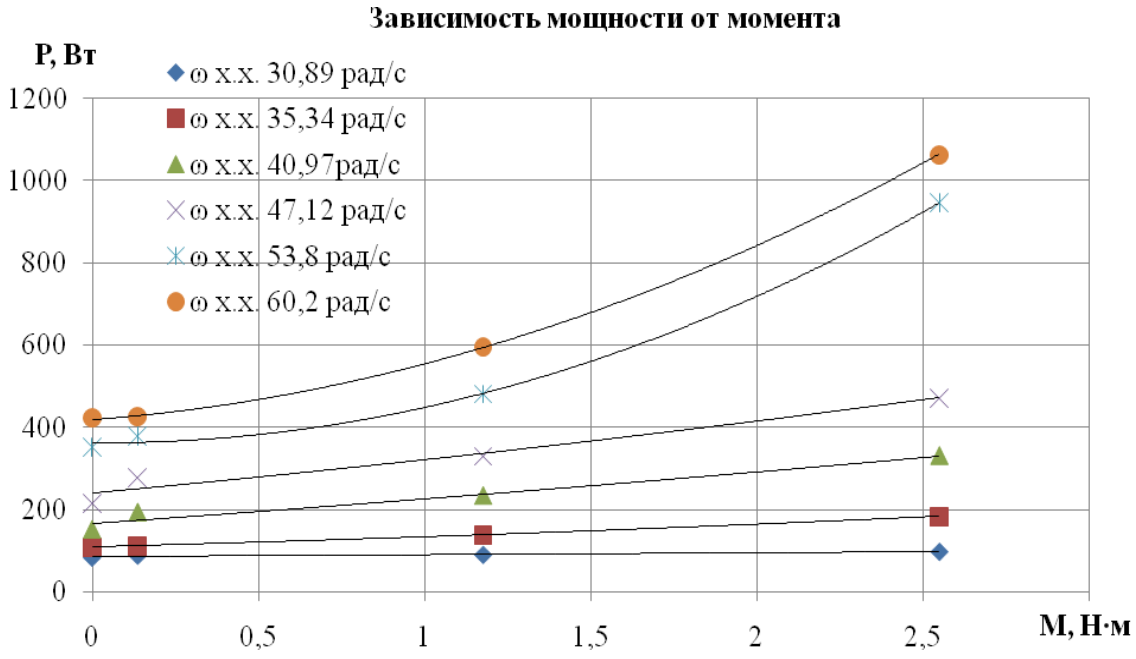


Рисунок 1 - Изменение величины мощности, потребляемой из сети мотор-редуктором от величины полезной нагрузки на его валу

Аппроксимированная кривая изменения потребляемой мощности мотор-редуктором с, установленным на его валу насосом в функции угловой скорости вращения на холостом ходу для чистого масла, представлена ниже:

$$P(\omega) = -0{,}1959\omega^2 + 46{,}67\omega - 1124{,}1.$$

Для оценки загрязненности масла на изменения параметров потребляемой мощности мотор-редуктором в масло было внесено загрязнение в виде белого электрокорунда зернистости М40 (ГОСТ 3647-80) последовательно по массе 1%, 2% и 3% корунда. И аналогично экспериментам на чистом масле были проведены соответствующие измерения во всем диапазоне фиксированных угловых частот. Уравнения аппроксимированных кривых представлены ниже:

$$P(\omega)=-0{,}0641\omega^2+32{,}213\omega-742{,}56 \text{ – 1\%-е загрязнение};$$

$$P(\omega)=-0{,}2948\omega^2+52{,}898\omega-1175{,}4 \text{ – 2\%-е загрязнение;}$$
$$P(\omega)=-03159\omega^2+54{,}247\omega-1187{,}3 \text{ – 3\%-е загрязнение.}$$

Полученные результаты показывают правильность предположения о том, что с увеличением загрязненности рабочей жидкости трансмиссии заметна тенденция роста параметров питания электропривода насоса даже на холостом ходу.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Multi-channel IR sensor system for determination of oil degradation / T. Bley, E. Pignanelli, A. Schùtze // J. Sens. Sens. Syst. – 2014. – 3. - 121-132.
2. *Мякотных А.А.* К оценке загрязненности рабочих сред трансмиссий по их акустическому сигналу / А.А. Мякотных, В.И. Князькина, Д.А. Падучин // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: 78-й международная научно-техническая конференция. - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск.гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2020. - 141 с.
3. Методы контроля и результаты исследования состояниятрансмиссионных и моторных масел при их окислении и триботехнических испытаниях: монография / В.И. Верещагин [и др.]. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2017. – 208 с.
4. *Поддубная А.А.* Пилотная диагностика состояния трансмиссий горных машин по параметрам питания электропривода / А.А. Поддубная [и др.]. / Записки горного института. - 2008. – Т.178 – С. 159-161.
5. *Knyazkina V.I.* About possibility of immediate evaluation of technical condition of mining equipment using signal value of acoustic emission friction // V.I. Knyazkina, K. ASafronchuk and S.L. Ivanov / IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – 560. – 012068.
6. *Князькина В.И.* Диагностика и продление срока службы трансмиссий карьерных экскаваторов / В.И. Князькина, С.Л. Иванов // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. - 2019. - Т. 25. № 2. - С. 141–148.

УДК 621.311

НЕФЕДОВ М.С.,
ШИРШИКОВ В.Ю.
Санкт-Петербургский горный университет

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДУГОВОЙ ЗАЩИТЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ 6-10 кВ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Аннотация. Приведены результаты разработки стенда дуговой защиты комплектных распределительных устройств напряжением 6-10 кВ для предприятий горнодобывающей отрасли. Выполнен анализ существующих способов построения дуговой защиты ячеек комплектных распределительных устройств и определены перспективы применения рассмотренных типов защит для электроустановок среднего класса напряжения горных предприятий. Обоснован состав, конфигурация и режимы функционирования комплекса дуговой защиты для решения обучающих и научно-исследовательских задач.

Ключевые слова: электрическая дуга, оптоволоконный датчик, регистратор дуговых замыканий, блок релейной защиты.

NEFEDOV M.S.,
SHIRSHIKOV V.YU.
Saint-Petersburg Mining University

DEVELOPMENT OF ARC PROTECTION BENCH FOR 6-10 kV ELECTRICAL COMPLEXES OF MINING ENTERPRISES

Abstract. The results of development of a stand of arc protection of complete switchgear with voltage 6-10 kV for mining industry enterprises are presented. The analysis of existing methods for constructing arc protection of cells complete switchgear is performed and the prospects for using the considered types of protection medium-voltage electrical installations of mining enterprises are determined. The composition, configuration and modes of operation of the arc protection complex for solving training and research tasks are justified.

Keywords: electric arc, fiber optic sensor, arc circuit recorder, relay protection unit.

Эффективность функционирования электротехнических комплексов среднего класса напряжения зависит от надёжной эксплуатации комплектных распределительных устройств (КРУ) 6-10 кВ. Одним из наиболее опасных видов повреждений в таких электротехнических установках, наносящих существенный ущерб оборудованию и представляющих опасность для персонала, являются дуговые замыкания [1, 2]. В этой связи с целью минимизации ущербов от дуговых замыканий необходимо применять защиту, имеющую максимальное быстродействие, но при этом соответствующую необходимым критериям надежности, селективности и чувствительности по отношению к аварийному режиму [1, 2]. Согласно требованиям нормативных документов все ячейки КРУ 6-10кВ с воздушной и твердой изоляцией должны оснащаться дуговыми защитами [1, 2]. Таким образом, задача организации эффективной дуговой защиты представляется актуальной научно-технической задачей.

Выполненный анализ сведений по применяемым на сегодняшний день дуговым защитам позволил установить, что существуют защиты, алгоритмы действия которых основаны регистрации повышения давления на фронте ударной волны, определении

степени ионизации газов в камере, фиксации светового излучения в результате процесса горения дуги [3-6]. Определены основные достоинства и недостатки указанных типов защит. Установлено, что наиболее перспективной для использования является оптоволоконная защита вследствие высокой надежности, быстродействия и точности определения места загорания дуги [3-6]. Однако кроме основных вышеобозначенных требований к оптоволоконной дуговой защите также необходимо отнести требования по удобству монтажа в части оптических линий связи и контролю целостности оптического тракта. Большая длина оптоволоконных линий, проходящих через несколько отсеков КРУ, снижает надежность защиты из-за возможных механических повреждений, что необходимо принимать во внимание при организации дуговой защиты.

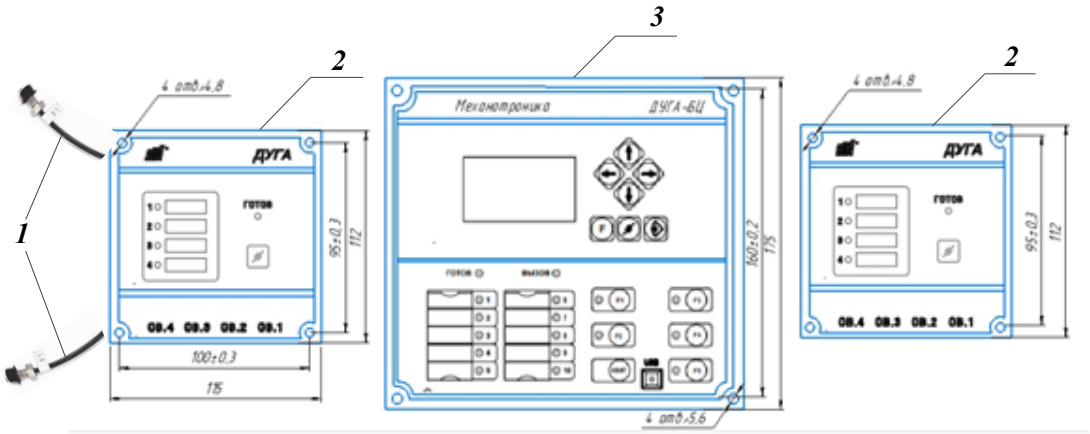


Рисунок 1 - Структурная схема стенда дуговой защиты электротехнических комплексов 6-10 кВ

На рис. 1 приведена структура построения оптоволоконной дуговой защиты, включающая в себя волоконно-оптические датчики (ВОД) (1), регистраторы дуговых замыканий (2) и центральный блок дуговой защиты (3), которые выполняют функции регистрации дугового замыкания, сбора сигналов от датчиков и формирование команд селективного отключения поврежденного участка соответственно. Определены основные объекты, требующие защиты от электрической дуги, среди которых ячейки вводного выключателя, сборные шины (шинный мост), секционный выключатель, секционный разъединитель, отсеки высоковольтного выключателя линейной ячейки, трансформаторов тока и кабельной разделки. Разработан проект стенда дуговой защиты, включающий в себя один центральный блок ДУГА-БЦ, 2 регистратора ДУГА-О и 4 оптоволоконных датчика ВОД-Л. Указанный лабораторный стенд предназначен для выполнения работ по исследованию функций дуговой защиты при возникновении электрической дуги на различных участках комплектного распределительного устройства.

Организация селективной и быстродействующей дуговой защиты позволит обеспечить высокую надежность функционирования и минимизировать ущербы в электрических сетях среднего напряжения горнодобывающих предприятий при возникновении аварийных режимов работы, связанных с дуговыми замыканиями.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Киреева Э.А.* Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем / Э.А. Киреева, С.А. Цырук. - М.: Академия, 2013. – 288 с.
2. *Pan B.* Summarize on Application of Arc Protection Device in Substation / B. Pan,

Ya. Zhanga, Xi. Guib, Yo. Wanc, Gu. Wang // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. - 2019. - 677. - 052107.
3. *Нагай В.И.* Быстродействующие дуговые защиты КРУ. Современное состояние и пути совершенствования // Новости ЭлектроТехники. - 2003. - № 5(23).
4. *Liu H.* A Novel 10 kv Switchgear Bus Arc Protection Based on the Principle of Voltage Lockout / H. Liu, D. Yang, S. Guo, X. Zang // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. - 2019. - 223. - 012014.
5. *Liang W.* The Effects of Arc Protection of 10-kV Switchgear Based on the Principle of Voltage Latching up / W. Liang, W. Mao, H. Li, P. Yuan, H. Liu, W. Lu // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. - 2019. - 223. - 012039.
6. *Нагай В.И.* Релейная защита ответвительных подстанций электрических сетей. – Энергоатомиздат, 2002. – 312 с.

УДК 621.833.38

НИКОЛАЕВА А.Г.
Санкт-Петербургский горный университет

УЛУЧШЕНИЕ РАБОТЫ ПАРЫ ТРЕНИЯ БРОНЗА-СТАЛЬ ПОДБОРОМ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. Целью научной статьи является улучшение работы пары трения бронза-сталь червячного редуктора насоса. В статье содержатся основные факторы, оказывающие влияние на долговечность пары трения, а также предлагаются материалы, способные снизить износ редуктора.

Ключевые слова: пара трения, червячный редуктор, бронза-сталь.

NIKOLAEVA A.G.
Saint-Petersburg Mining University

IMPROVEMENT OF THE OPERATION OF BRONZE-STEEL FRICTION COUPLES BY MATERIAL SELECTION

Abstract. The purpose of the scientific article is to improve the operation of a friction pair of a bronze-steel worm gear pump. The article contains the main factors affecting the durability of a friction pair, and also suggests materials that can reduce gear wear.

Keywords: friction pair, worm gear, bronze-steel.

При выборе материалов пар трения основной задачей является совместимость материалов деталей, которая должна обеспечивать прочность, упругость, твердость, сопротивление задиру и износу при поверхностном контакте [1, 9-11, 14-15].

На стойкость к задирам могут влиять такие факторы как скорость вращения, нагрузка, свойства масла, температура и твёрдость пары трения. Подбор материалов деталей узлов трения должен проводиться в соответствии с триботехническими показателями смазочных материалов. Значение имеют и экономические показатели. Необходимо найти баланс между уровнем заданных свойств и себестоимостью [1-3, 9, 11, 13].

Ведущая деталь червячной пары дозировочного насоса завода «Ареопаг», в зависимости от мощности и назначения, изготавливается из различных сталей. При этом могут использоваться стали из следующих групп: термически необработанные, улучшаемые, поверхностно закаливаемые, цементуемые с последующей закалкой и низким отпуском, подвергаемые азотированию и хромированию [3-6, 8, 12].

Одним из способов улучшения работы пары трения является использование бронз. Широкое применение получили оловянистые бронзы БрО10Ф, БрОЮН1Ф1, Бр05Ц5С6 и безоловянистые бронзы БрА9ЖЗЛ, БрА10Ж4Н4Л [7, 9-10].

В зависимости от мощности насоса требуется более тонкий подбор материалов бронзы и стали. С увеличением содержания олова в бронзе растет задиростойкость, однако и ее стоимость возрастает. Бронза с повышенным содержанием олова состоит из однородных кристаллов твердого α раствора и эвтектоида α+β. Сплав с содержанием олово около 10% является наилучшим материалом для зубчатого колеса, так как наличие включений твердого эвктектоида обеспечивает высокую стойкость против истирания. Для повышения прочности бронзу легируют 2% никеля, не оказывающего

влияние на сопротивление заеданию. Экономичным заменителем оловянно-никелевой бронзы является бронза БрО10Ф1, легированная фосфором [2, 9, 12].

Оптимальным сочетанием прочностных и экономических показателей в червячной паре для насосов средней мощности является бронза марки БрО10Ф1 и сталь 40Х. Бронза БрО10Ф1 может длительно работать при скоростях до 25 м/с и при отсутствии смазки. Ее заедание может проявляться в постепенном намазывании материала на червяк. При таких условиях передача может работать долгое время. Улучшаемая сталь 40Х после термообработке обладает достаточной поверхностной твердостью и износостойкостью для обеспечения продолжительной работы червячной пары [1-3, 10].

Данная работа выполнена под руководством доцента Сивенкова А.В.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Березин К.Г.* Повышение задиростойкости фрикционного контакта червячной пары трения: автореф. дис. ... канд. тех. наук. - Иваново: Иванов. гос.ун-т, 2012. – 23 с.
2. *Болобов В.И.* Влияние вида упрочняющей обработки на износостойкость материалов горного оборудования / В.И. Болобов [и др.] // Записки Горного института. - 2014. - Т. 209. - С17-22.
3. *Бортников А.Е.* Эксплуатация установок электроцентробежных насосов в обводных скважинах / А.Е. Бортников, М. Д. Валеев // Нефтяное хозяйство. – 2011. - №8. – С. 27-30.
4. *Бурданов В.Н.* Непрерывное дозирование жидкости насосами возвратно-поступательного действия. – СПб.: Геликон Плюс, 2012. – 107 с.
5. *Бурданов В.Н.* Особенности регулирования подачи дозировочного насоса изменением частоты ходов плунжера / В.Н. Бурданов, А.И. Романов // Насосы и оборудование. - 2009. - № 2. - С. 12.
6. *Волков А.В.* Математическое моделирование смазочных процессов в технических трибосистемах / А.В. Волков, В.А. Годлевский. – Иваново: Иванов. Гос. Ун-т, 2010. – С. 144.
7. *Гаркунок Д.Н.* Триботехника / Д.Н. Гаркунов, Э.Л. Мельников, В.С. Гаврилюк. – М.: КНОРУС, 2015. – 408 с.
8. *Гриценко В.* Инновационные разработки в мире дозировочных насосов // АКВА MAGAZINE. – 2007. - № 4. - С. 48-50.
9. *Киселев Б.Р.* Триботехника. Повышение эффективности работы червячной пары: Монография. 2-е изд., испр. – СПб.: Издательство «Лань», 2018. - С. 36-40.
10. *Киселев Б.Р.* Проектирование приводов машин химического производства: учеб. пособие. – Иваново: ИГХТУ, 2007. – С. 83-116.
11. *Мышкин Н.К.* Трение, смазка, износ / Н.К. Мышкин, М.И. Петроковец. - М.: Книга по требованию, 2013. - С. 244-253.
12. *Пузанов В.Ю.* К рациональному выбору параметров неортогональной червячной передачи // Интеллектуальные системы в производстве. – 2011. - С. 153-158.
13. *Севастьянов А.В.* Технологии и оборудование для отбора попутного нефтяного газа из скважин и его утилизация / А.В. Севастьянов. - СПб.: Недра, 2017. - С. 91-94.
14. *Севастьянов А.В.* Мобильный блок реагентного хозяйства / А.В. Севастьянов, Ю.В. Нигай, Р.С. Третьяков // Насосы и оборудование. – 2014. – №4(87)-5(88). – С. 45-47.
15. *Шалобаев Е.В.* Модернизированные редукторы отечественного производства // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2010. - С. 105-111.

УДК 621.793.1

ОЛЕЙНИК А.В.
Уфимский государственный авиационный
технический университет

ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАЕКТОРИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ БЛИСКА ПРИ НАНЕСЕНИИ ВАКУУМНОГО ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО ПОКРЫТИЯ

Аннотация. Опыт эксплуатации осевых моноколес свидетельствует о необходимости защиты лопаток от эрозионного повреждения, что может быть обеспечено нанесением защитного вакуумного ионно-плазменного покрытия. Однако форма детали создает области оптической тени на пути движения частиц покрытия. Данная проблема может быть решена созданием сложной траектории движения изделия в вакуумном объеме. Нами предложен способ ее выбора, включающий численное моделирование и экспериментальное уточнение результатов расчета.

Ключевые слова: вакуумное ионно-плазменное покрытие, численное моделирование.

OLEINIK A.V.
Ufa State Aviation Technical University

OPTIMIZATION OF THE BLISKS TRAJECTORY DURING PVD COATING DEPOSITION

Abstract. The exploitation experience of blisks indicates the need of blades erosion protection, which can be achieved by a protective coating deposition. However, the part's shape creates areas of optical shadows in the particle's path. This problem can be solved by applying a complex trajectory to the blisk in the vacuum chamber. We have proposed a method for its selection, including numerical modeling and further experimental refinement of calculation results.

Keywords: PVD coating, numerical modeling.

Введение

В последние десятилетия, в связи с необходимостью увеличения мощности ГТД, обострилась проблема предельного возрастания нагрузки на компрессор, в том числе решаемая путем внедрения интегрированной конструкции, известной как блиск. Это позволило снизить вес изделия, при этом увеличив его ресурс [1]. Опыт эксплуатации осевых моноколес продемонстрировал необходимость их защиты от эрозионного повреждения [2]. Одним из успешных подходов к решению данной проблемы является нанесение защитного вакуумного ионно-плазменного покрытия. Результаты исследований [3] демонстрируют повышение сопротивлению эрозии в 3-4 раза для единичных лопаток, что говорит о перспективности метода для блисков. Однако нанесение защитного покрытия на осевые моноколеса осложняется их сложной формой, так как имеются области оптической тени на пути движения частиц материала осаждаемого покрытия. В перекрытых областях лопаток блиска плотность плазмы заметно ниже, в связи с чем их обработка может осуществляться неравномерно. Классический путь решения данной проблемы- создание такой траектории движения детали относительно испарителей плазмы, при которой обеспечивается максимальная равномерность обработки [4]. Актуальность вопроса подтверждается наличием патентов в этой области как за рубежом [5], так и в нашей стране [6]. В данной работе

рассмотрен подход к подбору вышеуказанной траектории с использованием численного моделирования и дальнейшее уточнение расчетов с помощью экспериментов.

Материалы и методы

Анализ распределения толщины покрытия по поверхности детали производился на секторе осевого моноколеса (рис. 1), полученное с помощью 3D-принтера Duplicator 9.

CAD-модель импортировалась в программный пакет COMSOL MULTIPHYSICS. Расчет производился с использованием модулей Deformedmesh и Mathematicalparticletracing. Угловое распределение плотности частиц Ламберта-Кнудсена относительно источника получено при помощи функции вида:

$$rnd = random(pt.pidx),$$

которая присваивает каждой частице угол с заданной вероятностью в указанном диапазоне. Параметр сглаживания кривой (Smoothedvariable (R)) принят 0,12L, где L - длина поверхности мишени. При расчете использовался прямой решатель. Данный подход был опробован на плоских образцах [7], показав удовлетворительные результаты.

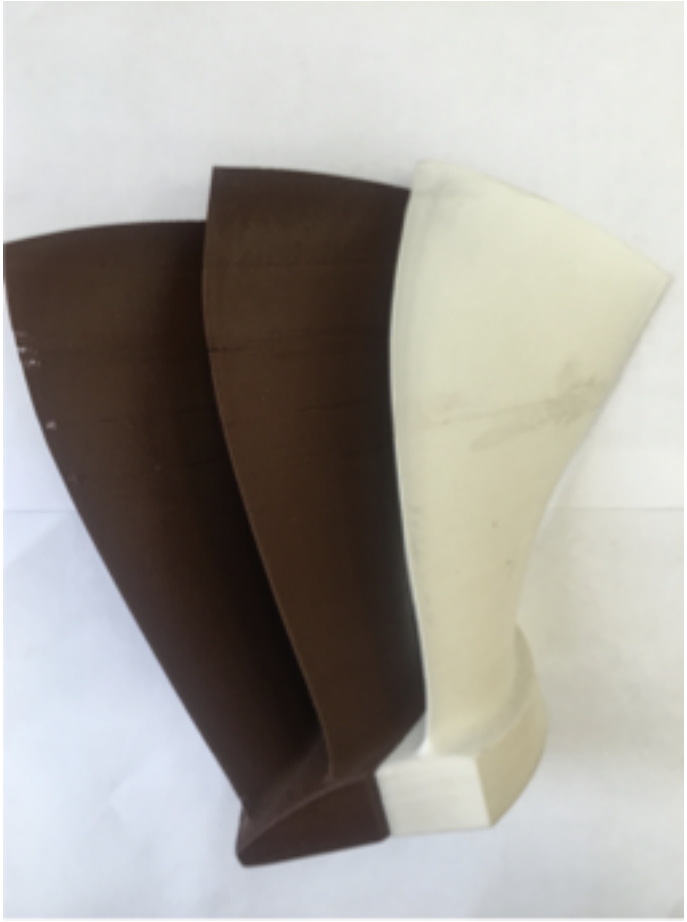


Рисунок 1 - Сектор моноколеса

Чтобы проверить и уточнить результаты численного расчета проведен эксперимент. Сектор блиска, с предварительно нанесенным слоем белого силикона, устанавливался на основание, вращающееся с заданными угловыми скоростями. Работа испарителей имитировалась аэрозольным распылением черной краски.

Вращение основания осуществлялось шаговым двигателем 36HT20-0504MA, управляемого платой ArduinoUno. По завершении процесса нанесения краски, ее

распределение контролировалось с помощью аналогового датчика линии.

Анализ результатов

Проведенные исследования выявили проблемные зоны для обработки, показанные на рис. 2, где черным отмечены зоны с максимальной ожидаемой толщиной покрытия, серым- область с меньшей толщиной, белым- места с ожидаемой наименьшей толщиной. Стоит отметить, что полностью избавиться от неравномерности покрытия не представляется возможным. Однако снижение угловой скорости вращения, когда «белая» область находится в зоне обработки, позволило увеличить равномерность распределения покрытия.

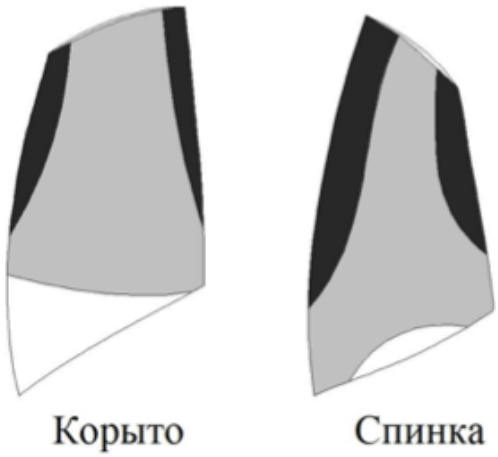


Рисунок 2 - Зоны максимальной и минимальной толщины покрытия на поверхности лопатки

Вывод:

Рассмотренный подход, включающий численное моделирование и проверку расчета при помощи имитации нанесения покрытия аэрозольнымраспылением краски, позволил оптимизировать траекторию движения осевого моноколеса в вакуумной камере при нанесении защитного эрозионно-стойкого покрытия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Hennig W.* Shot peening method for aerofoil treatment of blisk assemblies / W. Hennig, G. Feldmann, T. Haubold // Procedia Cirp. - 2014. - Т. 13. – P. 355–358.

2. *Фомичев Е.О.* Разработка способа восстановления моноколес газотурбинных двигателей: дис. ... канд. тех. наук. - М., 2013. - 209 с.

3. *Дубин А.И.* Повышение сопротивления усталости лопаток компрессора газотурбинных двигателей на основе улучшения поверхностного слоя: дис. ... канд. тех. наук. - Уфа, 2014. - 193 с.

4. *Anders A.* Cathodic arcs // Springer ScienceþBusiness Media, LLC, 2008. - 555 p.

5. *Bruce R.W., Schell J.D.* Process for depositing a coating on a blisk // Патент США 12241678. 2010.

5. *Смыслов А.М., Дыбленко Ю.М., Смыслова М.К., Мингажев А.Д., Гонтюрев В.Д. [и др.]* Способ нанесения защитного многослойного покрытия на лопатки блиска газотурбинного двигателя из титанового сплава от пылеабразивной эрозии // Патент РФ № 2677041. 2019. Бюл. №2.

6. *Олейник А.В.* К вопросу численного моделирования процесса нанесения защитного покрытия на плоский образец / Школа молодых ученых «Структура и свойства высокоэнтропийных сплавов» (Belgorod, Oct. 9 - 11 2019). - Белгород: БелГу, 2019. – С. 15–16.

УДК 622.331

ПРУЖИНИН А.И.,
КОРОВАШКИН К.П.
Тверской государственный технический университет

МОБИЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ТОПЛИВНЫХ ГРАНУЛ ИЗ ТОРФОДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ

Аннотация. В данной работе рассмотрены аспекты применения топливных гранул из торфа.

Ключевые слова: торф, топливные гранулы, мобильное производство.

PRUZHININ A.I.,
KOROVASHKIN K.P.
Tver State Technical University

MOBILE PRODUCTION OF FUEL PELLETS FROM PEAT-WOOD RAW MATERIALS

Abstract. The article discusses the aspects of using fuel pellets from peat.

Keywords: peat, fuel pellets, mobile production.

Применение схемы со сплошным фрезерованием залежи позволяет вести круглогодичную добычу торфодревесного сырья. Мерзлый монолит фрезеруется на глубину 40 см. Ввиду своих физико-механических свойств, древесные включения в мерзлом монолите фрезеруются до состояния мелкой щепы [1-6, 10-16, 20].

Полученноесырье можно сразу же перерабатывать на мобильной линии производства топливных гранул [7-9, 13]. Линия начинается с модуля подготовки. Сырье поступает в приемный бункер, из которого ленточным транспортером подается в дробилку. По ходу движения сырья на участке бункер-дробилка из массы при помощи магнитного сепаратора удаляются металлические включения, которые далее собираются на складе металлических отходов. Дробильное оборудование в модуле представлено двухвалковой зубчатой дробилкой. Дробленое сырье поступает через шнековый питатель в модуль сушки, включающий пропарочную камеру и барабанную сушилку. В шнековом питателе происходит усреднение физико-механических свойств. После модуля сушки, материал поступает в модуль формования. На этом этапе, ленточным транспортером масса доставляется в модуль получения готовой продукции, где входным элементом является гранулятор, в котором проходит формование топливных гранул из торфодревесного сырья.

Данное биотопливо производится в полевых условиях на оборудовании мобильного комплекса и является экологически безопасным [16-19].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Mikhailov A.V.* Excavating and loading equipment for peat mining / A.V. Mikhailov, A.I. Zhigulskaya, T.B. Yakonovskaya // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2017. - 022014.
2. *Mikhailov A.V.* Strip mining of peat deposit / A.V. Mikhailov, A.I. Zhigulskaya, T.B. Yakonovskaya // Mine Planning and Equipment Selection: MPES 2017 Proceeding of

the 26th International Symposium. Edited by Behzad Ghodrati, Uday Kumar, Håkan Schunnesson. - 2017. - P. 497-501.
3. *Яконовская Т.Б.* Комплекс машин для добычи и переработки торфодревесного сырья / Т.Б. Яконовская, А.И. Жигульская // Инновации на транспорте и в машиностроении: сборник трудов III международной научно-практической конференции. - СПб: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2015. – Т. II. - С. 76-79.
4. *Михайлов А.В.* Масштаб торфяного производства и комплектование оборудованием // Процессы и средства добычи и переработки полезных ископаемых. Сборник трудов Междунар. научн.-техн. конфер. Минск 17-20 апреля.- 2012. - С. 63-67.
5. *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. -2014. – Vol. 2. - P.1243-1249.
6. *Mikhailov A.* Reclamation of Mine Tailings Using Natural Peat / Legislation, Technology and Practice of Mine Land Reclamation. Edited by Zhenqi Hu. Proceedings of the Beijing International Symposium Land Reclamation and Ecological Restoration, LRER 2014, Beijing, China, 16-19 October 2014, CRC Press. - 2014. - 363-369.
7. *Иванов С.Л., Михайлов А.В., Звонарев И.Е., Бондарев Ю.Ю., Таранов А.Г.* Способ по добыче и переработке торфа и растительно-торфяных сплавин и устройство для реализации этого способа // Патент РФ на изобретение RU 2599117 C1. 2015.
8. *Большунов А.В., Кремчеев Э.А., Михайлов А.В., Нагорнов Д.О.* Энергонезависимый технологический комплекс по производству продукции из торфа // Патент на изобретение RU 2529059. 2013.
9. *Тарасов Ю.Д., Иванов С.Л., Михайлов А.В.* Шнековая установка для добычи торфа // Патент РФ на изобретение RU 2513576 C2. 2012.
10. *Михайлов А.В.* Технологические процессы и оборудование для подготовки торфяных месторождений к добыче торфодревесного сырья / А.В. Михайлов, А.И. Жигульская, В.А. Беляков // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2018. Сборник тезисов международной научно-практической конференции. - 2018. - С. 102.
11. *Зюзин Б.Ф.* Статистические показатели надежности для горных машин и комплексов / Б.Ф. Зюзин [и др.] //. Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2018. Сборник тезисов международной научно-практической конференции. - 2018. - С. 103.
12. *Зюзин Б.Ф.* Уборочные машины для комплексной механизации добычи торфодревесного сырья / Б.Ф. Зюзин [и др.] // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности. Сборник трудов XV Международной научно-технической конференции. - 2017. - С. 129-132.
13. *Жигульская А.И.* Биоэнергетическое комплексное использование торфа в мобильной технологии полного цикла для нужд ЖКХ и АПК / А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовская, А.С. Оганесян // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2017. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции. Научные редакторы В.В. Максаров, В.В. Габов. - 2017. - С. 38-42.
14. *Оганесян А.С.* Предварительная подготовка сырья к комплексной переработке при сплошном фрезеровании торфяной залежи // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2017. Сборник тезисов международной научно-технической конференции. Научные редакторы: профессор В.В. Максаров, доцент Д.А. Задков. - 2017. - С. 76.
15. *Жигульская А.И.* Использования мобильных перерабатывающих установок для создания ресурсосберегающего торфяного производства / А.И. Жигульская [и др.] // Актуальные проблемы безопасности жизнедеятельности и экологии. Сборник научных

трудов II международной научно-практической конференции с научной школой для молодежи. Тверской государственный технический университет. - 2016. - С. 146-148.
16. *Жигульская А.И.* Переработка древесных ресурсов торфяных месторождений с получением экологически безопасной продукции / А.И. Жигульская [и др.] // Актуальные проблемы безопасности жизнедеятельности и экологии. Сборник научных трудов II международной научно-практической конференции с научной школой для молодежи. Тверской государственный технический университет. - 2016. - С. 149-151.
17. *Жигульская А.И.* Ресурсосберегающие технологии переработки торфодревесного сырья с использованием мобильных установок / А.И. Жигульская, А.М. Гусева // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики. Материалы 11-й Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. Под общей редакцией Р.А. Ковалева. - 2015. - С. 107.
18. *Зюзин Б.Ф.* Рациональное использование торфодревесного сырья, полученного сплошным фрезерованием торфяной залежи / Б.Ф. Зюзин, А.И. Жигульская, А.М. Гусева // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья. Сборник докладов Международной научной конференции: в 2-х томах. - 2016. - С. 48-52.
19. *Зюзин Б.Ф.* Комплексное использование торфяных и древесных ресурсов / Б.Ф. Зюзин [и др.] // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья. Сборник докладов Международной научной конференции: в 2-х томах. - 2016. - С. 152-156.
20. *Корнильев Е.О.* Навесное модульное оборудование для первичной обработки торфяного сырья / Е.О. Корнильев, А.И. Жигульская, А.В. Михайлов // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики Материалы конференции. Тульский государственный университет; Под редакцией Р.А. Ковалева. – 2017. - С. 173-176.

УДК 621.73.011 + 621.73.073

РАКИТИН И.В.
Санкт-Петербургский горный университет

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЗУБЬЕВ КОВША ЭКСКАВАТОРА ИХ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

Аннотация. В настоящей работе с использованием программы DEFORM-3D, основанной на методе конечных элементов, оценивается возможность изготовления способом ВТМО зуба ковша экскаватора, а также величина получаемой им интенсивности деформации. Зуб предлагается получить из прямоугольной заготовки путем её пластической деформации в открытом штампе при температуре 1050 °С и скорости деформации $\dot{\varepsilon}$ = 0,1 с$^{-1}$.

Ключевые слова: горное оборудование; сталь 110Г13Л; абразивное изнашивание; операция ВТМО.

RAKITIN I.V.
Saint-Petersburg Mining University

EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF IMPROVING THE WEAR RESISTANCE OF EXCAVATOR BUCKET TEETH BY THERMOMECHANICAL PROCESSING

Abstract. In this article, by using the DEFORM-3D program based on the finite element method, we assess the possibility of manufacturing an excavator bucket teeth using the HTTT method, as well as the magnitude of the deformation intensity obtained by it. It is proposed to obtain a tooth from a rectangular billet by plastic deformation in an open die at a temperature of 1050 °C and a strain rate of $\dot{\varepsilon}$ = 0.1s^{-1}.

Keywords: mining equipment; Hadfield steel; abrasive wear; high temperature thermomechanical treatment.

ВВЕДЕНИЕ

Предприятия горнодобывающей промышленности Российской Федерации ежегодно потребляют десятки тысяч тонн высокомарганцевой стали 110Г13Л, как основного материала быстроизнашиваемых элементов горнодобывающего и горнообогатительного оборудования, в том числе зубьев ковшей экскаваторов, работающих в условиях ударно-абразивного изнашивания. Затраты на постоянную замену зубьев, которые изготавливаются при помощи дорогостоящего марганцевого литья составляют около 15% от стоимости всех потребляемых предприятиями запасных частей. Долговечность зубьев ковшей экскаваторов порой составляет всего 30-50 рабочих часов [1]. Такой короткий срок службы зубьев объясняется тем, что аустенитная высокомарганцевая сталь 110Г13Л, хорошо сопротивляющаяся ударным нагрузкам, при чисто абразивном воздействии породы демонстрирует низкую износостойкость [12].

Известно [2, 3, 4], что одним из способов, повышающих весь комплекс механических свойств и стойкость к абразивному изнашиванию металлических материалов, является их высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО), заключающаяся в высокотемпературной пластической деформации металла и его последующем быстром охлаждении (закалке), что способствует измельчению зерна

металла.

В отношении стали 110Г13Л было установлено, что степень деформации, которую получил металл в процессе ВТМО, напрямую влияет на износостойкость [10]. В соответствии с рис. 1, по мере повышения степени укова до трёх, сопротивление стали износу растёт, и в дальнейшем изменяется незначительно.

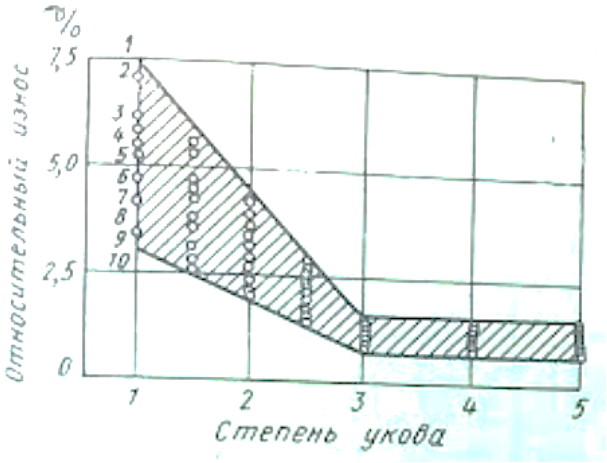


Рисунок 1 – Влияние степени деформации на относительный износ по сечению заготовки из стали 110Г13Л с размерами 110×110 мм

В связи со всем вышесказанным, способ ВТМО может быть рекомендован к внедрению в технологию изготовления зубьев ковша экскаваторов с целью повышения их срока службы.

За образец был взят зуб коваша экскаватора ЭКГ-5 (рис. 1), который планируется получить из прямоугольной заготовки (рис. 2, *а*), путем пластической деформации головной части в открытом штампе (рис. 2, *б*) при температуре 1050°С и скорости деформации $\dot{\varepsilon}$ = 0,1 с$^{-1}$.

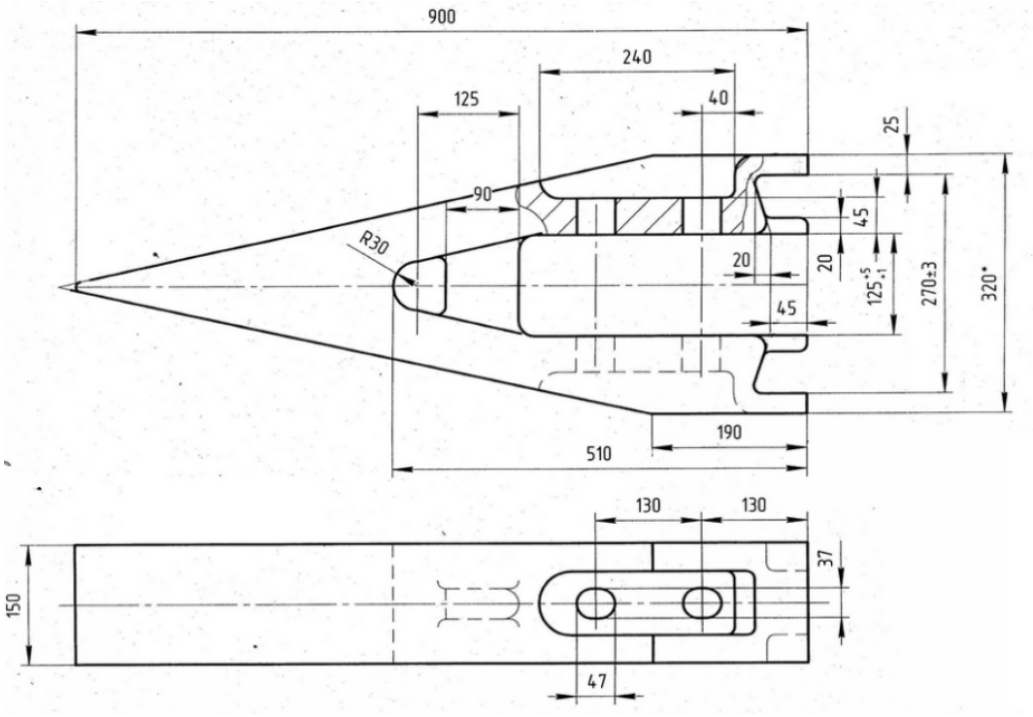


Рисунок 2 – Типовые размеры зуба ковша экскаватора ЭКГ-5.

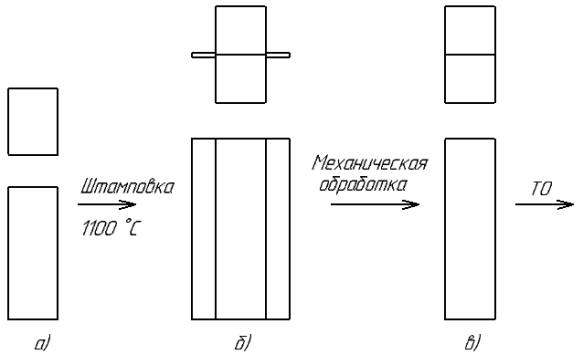


Рисунок 3 – Основные технологические операции усовершенствованной технологии производства зубьев

УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ «НАПРЯЖЕНИЕ-ДЕФОРМАЦИЯ» СТАЛИ 110Г13Л, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА В ПРОЦЕССЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Прежде чем проводить исследование возможности заполнения полости штампа металлом при горячем деформировании заготовки, необходимы сведения о зависимости напряженияσдля её сжатия при заданной температуре (при 1050 °С), от истинной деформации ε.

Данная зависимость, при условии, что скорость деформации и температура остаются постоянными, может быть сведена в уравнение пластического состояния, которое аппроксимируется уравнением Холломона [5]:

$$\sigma = K\varepsilon^{n}, \tag{1}$$

в котором параметр прочности K и показатель деформационного упрочнения n являются функцией от скорости деформации $\dot{\varepsilon}$:

$$K = K_0\dot{\varepsilon}^{a}, \qquad n = n_0\dot{\varepsilon}^{b}. \tag{2}$$

Здесь K_0 и n_0 – параметр прочности и показатель деформационного упрочнения соответственно, выбираемые из таблицы, составленной по закону Холломона [5]; a и b – коэффициенты, установленные аналитическим путем для разных температур и скоростей деформации [5] (для T = 1050 °С и $\dot{\varepsilon}$ = 0,1 с$^{-1}$, K_0 = 300 ,n_0 = 0,380, a = −0,009, b = −0,012). Тогда уравнение (4.1) имеет вид:

$$\sigma = 300\dot{\varepsilon}^{-0,009}\varepsilon^{0,380\dot{\varepsilon}^{-0,012}} = 306,3\,\varepsilon^{0,39}. \tag{3}$$

Полученная зависимость (3) напряжения, необходимого для сжатия образца стали в нагретом состоянии, от истинной деформации его материала, была использована в программе DEFORM-3D, которая основана на методе конечных элементов и будет в дальнейшем использована для исследования течения металла при деформации (рис. 4).

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССАДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИ ШТАМПОВКЕ ЗУБЬЕВ

Изготовление зубьев осуществляется методом горячей штамповки на КГШП при использовании заготовок формы прямоугольного параллелепипеда.

Задача о распределении интенсивности пластической деформации по объему фрагмента в процессе его деформации решалась при следующих допущениях:

1. Фрагмент деформируется в изотермических условиях, в связи с большой скоростью протекания процесса.

2. Деформация проводится при постоянной температуре фрагмента (1050 °С).

3. Верхняя и нижняя направляющие молота принимаются абсолютно жесткими (недеформируемыми).

4. Деформация фрагмента описывается кривой упрочнения (рис. 4)

5. Разбивка на 32000 конечных элементов является достаточной для объективного описания процесса деформации фрагмента.

6. Образцы подвергали сжатию при скорости деформации $\acute{\varepsilon} = 0{,}1\ c^{-1}$

Коэффициент трения между заготовкой и поверхностью пуансона близок к 0,7 (значению, принимаемому в программе DEFORM-3D для трения без смазки при горячем деформировании металлов).

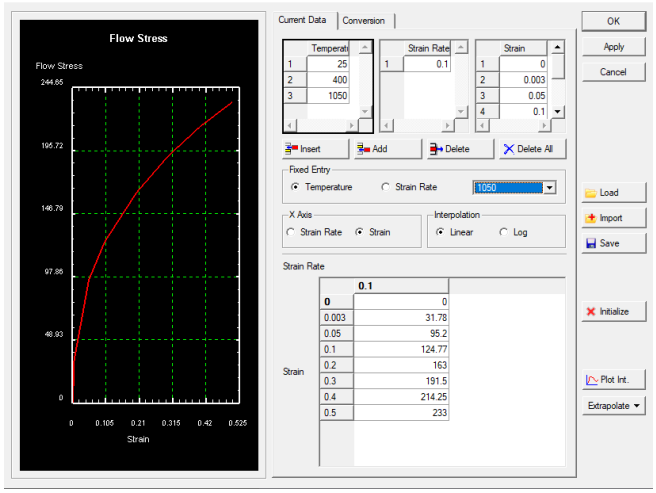


Рисунок 4 – Диаграмма зависимости $\sigma_{сж}$ - ε и окно построения программы компьютерного комплекса DEFORM-3D

Для проведения анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) заготовки при ее штамповке на КГШП в программе компьютерного моделирования Компас-3D были построены модели штампа и пуансона (рис. 5). После чего был произведен расчет НДС методом конечных элементов в программном комплексе DEFORM-3D.

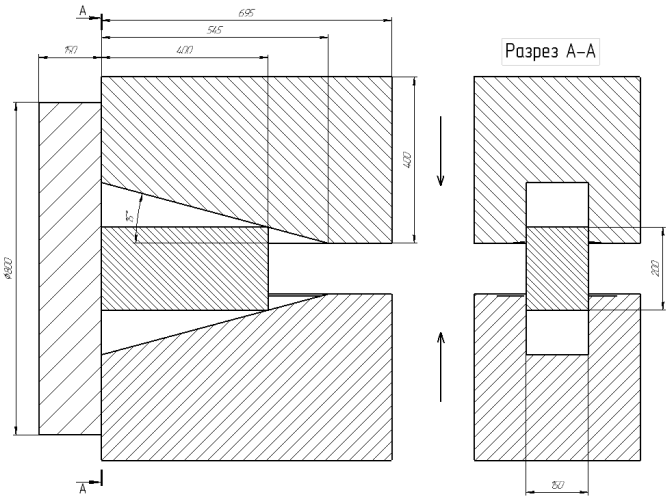


Рисунок 5 – Технология штамповки

Результаты компьютерного моделирования, включающие в себя интенсивности пластической деформации, получаемые различными частями заготовки в процессе ее превращения в поковку, представлены на рис. 6.

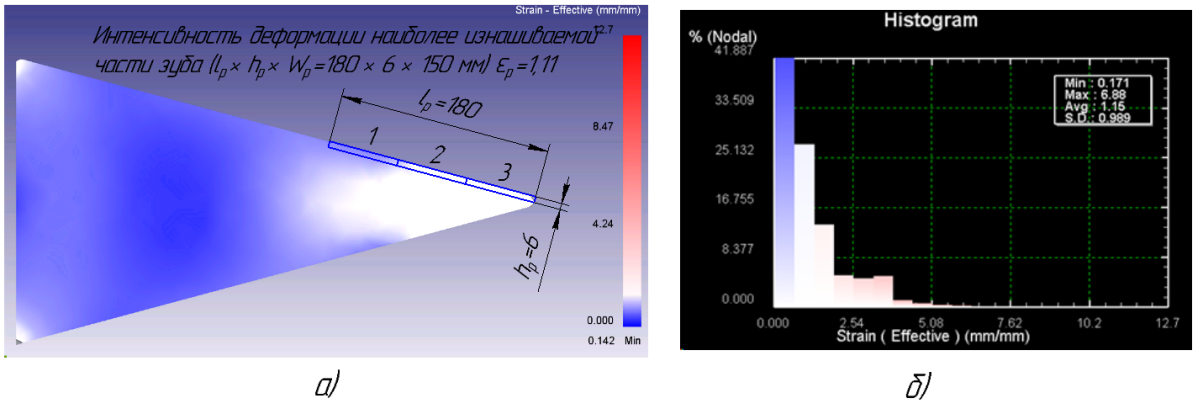


Рисунок 6 – Значения интенсивности деформации на поверхности зуба (а); гистограмма распределенияε по поковке в % (б)

Как показало моделирование, интенсивность деформации ε_i, накопленная элементами зуба в процессе штамповки, заметно различается для отдельных ее частей. Для рабочей, наиболее изнашиваемой части зуба, длиной $l_р$ = 180 мм среднее значение интенсивности пластической деформации всех i-ых элементов поверхностного слоя (толщиной h = 6 мм) равно $\varepsilon_р$ = 1,11, что соответствует значению уковау = 3, и является достаточным для повышения износостойкости, а значит и срока службы, в 2 раза.

Штамповка в спроектированных условиях обеспечивает полное заполнение металлом штампа.

Полученный результат говорит об эффективности проведения операции ВТМО в технологии изготовления зубьев ковша экскаватора из стали 110Г13Л.

Данная работа выполнена под руководством профессора Болобова В.И.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шамония В.П.* Долговечность зубьев ковшей экскаваторов ЭКГ-8 в условиях Норильска / В.П. Шамония, А.И. Михайловский // Горный журнал. - 1966. – №7.
2. *Парфенов П.И.* Структура и износостойкость стали Г13Л / П.И. Парфенов, Г.А. Сорокин // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1969. – №1. – С. 67-68.
3. *Чупин С.А.* Повышение износостойкости поворотных резцов проходческих комбайнов для проведения выработок по породам средней крепости: дис. ... канд. техн. наук – СПб., 2016. – С.117–128.
4. *Давыдов Н.Г.* Высокомарганцевая сталь. - М.: Металлургия, 1979. - 176 с.
5. *Bayraktar E.* Formability characterization of Hadfield steel / E. Bayraktar, C. Levaillant, S. Altintas // Journal of Materials Processing Technology. – 1994. – № 47. – P. 13–31.
6. *Болобов В.И.* О возможности повышения износостойкости быстроизнашиваемых элементов горнообогатительного оборудования термомеханической обработкой / В.И. Болобов, В.С. Бочков.
7. *Блюхер В.В.* Свойства пластически деформированной высокомарганцовистой стали / В.В. Блюхер, Л.И. Парфенов, И.П. Волчок // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1970. – №12. – С. 32-33.

УДК 661.152.4

РЕПКИНА К.С.
Санкт-Петербургский горный университет

СПОСОБЫ ГРАНУЛИРОВАНИЯ КОМПОСТА ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Аннотация. В статье описаны результаты эксперимента по окускованию торфонавозного компоста для использования гранул на этапе биологической рекультивации выработанных месторождений и отвалов горных пород. Основная цель исследования состояла в оценке методов окускования материала (экструзией и окатыванием) без связующих добавок. После окускования гранулы были подсушены до эксплуатационной влажности 20%. Гранулы из торфонавозного компоста показали достаточную механическую прочность для транспортирования и механизированного внесения их в почву при рекультивации нарушенных земель.Наличие торфа в композиции в качестве натурального связующего повышает эффективность процесса гранулирования. Гранулы, полученные методом окатывания отличаются большей объемной усадкой при сушкеи меньшей крошимостью.

Ключевые слова: торфонавозный компост; окускование; экструзия; окатывание; сушка.

REPKINA X.
Saint-Petersburg Mining University

METHODS OF COMPOST GRANULATION FOR LAND RECLAMATION

Abstract. The article describes the results of an experiment on sintering peat compost for the use of pellets at the stage of biological reclamation of developed deposits and rock dumps. The main objective of the study was to evaluate the methods of material agglomeration (extrusion and pelletizing) without binders. After agglomeration, the granules were dried to an operating moisture of 20%. Pellets from peat compost showed sufficient mechanical strength for transportation and mechanized application into the soil during the restoration of disturbed lands. The use of peat in the composition as a natural binder increases the efficiency of the granulation process. Pellets obtained by the pelletizing method are characterized by greater volumetric shrinkage during drying and less crumbling.

Keywords: peat-manure compost; agglomeration; extrusion; pelletizing; drying.

Введение

В связи с интенсивными разработками и добычей полезных ископаемых постоянно увеличивается площадь территорий нарушенных земель, подлежащих рекультивации. В ряде случаев обеспеченность природными ресурсами рекультивации недостаточна для внедрения технологий рекультивации с высокой почвенной эффективностью. Большой количество нарушенных территорий без предварительного снятия и сохранения природного слоя почвы и потенциально плодородной породы, делает актуальным применение на этапе биологической рекультивации выработанных месторождений и отвалов горных пород гранулированных органических удобрений. Почвенная эффективность рекультивации без использования потенциально плодородной породы остаётся долгое время весьма низкой [1]. Способ биологической рекультивации выработанных месторождений и отвалов горных пород заключается в

посеве трав и древесно-кустарниковых растений, а также во внесении органических удобрений. Биологический этап включает комплекс агротехнических и фитомелиоративных мероприятий, направленных на улучшение агрофизических, агрохимических, биохимических и других свойств создаваемого верхнего плодородного слоя почвы исокращения сроков рекультивации земель [2]

Для рекультивации открытых горных выработок используются природные материалы – плодородный слой почв, суглинки, торф и т.п [3]. Эффективность применения торфа для создания плодородного слоя повышается при компостировании его с биологически активными органическими удобрениями – навозом. При этом происходит разложение органического вещества торфа и увеличивается количество доступного растениям азота [4, 5, 6]. Основные функциональные компоненты гуминовых веществ торфа: битумы, гуминовые и фульвовые кислоты, позволяют обеспечить достаточную прочность влажных и сухих гранул [7]. Основная цель исследования состояла в оценке методов окускования материала (экструзией и окатыванием) без связующих добавок [8].

Материалы и методы

С целью увеличения насыпной плотности и эксплуатационных характеристик торфонавозного компоста (навоз КРС + торф) был проведён эксперимент по его окускованию методами экструзии и окатывания [9, 10, 11]. Торфонавозный компост производится в ООО «Агровит» методом биоферментации смеси фрезерного торфа и бесподстилочного навоза КРС по ГОСТ Р 53117-2008 [12]. Компост Агровит АМФК предназначен для применения в агропромышленном производстве, садоводстве, цветоводстве, лесном, городском хозяйствах в целях повышения плодородия почв, благоустройства и озеленения территорий, рекультивации нарушенных земель и выработанных месторождений полезных ископаемых. Компост Агровит АМФК представляет собой органический компост темно-коричневого цвета с запахом растительной земли. Исходная плотность компоста составляла 460 кг/м^3 при влажности 67,5%. Материал высокопористый с высокой аэропроницаемостью [13]. Засоренность балластными инородными механическими включениями составляет 0,5%.

Гранулирование торфонавозного компоста проводилось лабораторных условиях [Tropicalpeat]. Материал предварительно был просеян от инородных включений, затем спрессован через фильеру диаметром 12 мм на поршневом прессе, установленном на универсальной машине Zwick/Roell Z100. Часть полученных гранул была окатана в лабораторном барабанном грануляторе в течение 2 мин. Полученные цилиндрические (10 шт.) и сферические (10 шт.) гранулы были высушены до влажности 20%. Сушка полученных гранул проводилась на экспериментальной установке в неподвижном слое с постоянной скоростью воздуха и температуре +35 °С при атмосферном давлении [9]. Воздух в сушильную камеру подавался электрическим тепловентилятором.

Размерно-массовые характеристики. При помощи штангенциркуля определены размеры гранул до и после сушки. Влажность исходного материала и гранул после сушки определялась на анализаторе влажности AnD MX-50.Масса гранул определялась на лабораторных весах ВЛКТ-500 с точностью ± 0,01 г.

Испытания на механическую прочность (крошимость) гранул проводились методом десятикратного сбрасывания гранул с высоты 2 м на бетонный пол с оценкой их крошимости [14, 15, 16].

Результаты

Средний диаметр влажных цилиндрических гранул составил 12 мм, сферических – 17 мм. После сушки средний диаметр цилиндрических гранул составил 10 мм, а сферических – 13 мм. Плотность сферических гранул оказалась выше, чем плотность цилиндрических. Среднее значение объёмной усадки гранул при сушке составило

соответственно 38,1 и 46,8% соответственно (рис. 1).

В табл. 1 показаны результаты окускования торфонавозного компоста методами экструзии и окатывания.

Рисунок 1 - Образцы торфонавозных гранул, полученных методом экструзии и окатывания

Таблица 1

Усредненные результаты окускования торфонавозного компоста методами экструзии и окатывания

Форма гранул	Влажные гранулы (w = 67,5%)					
	Диаметр, мм	Длина, мм	Масса, г	Объем, $м^3 \cdot 10^{-6}$	Плотность, $кг/м^3$	
Цилиндр	12,0	17,0	2,35	1,92	1,22	
Шар	16,0	-	2,35	2,25	1,10	
Форма гранул	Сухие гранулы (w = 20,0%)					
	Диаметр, мм	Длина, мм	Масса, г	Объем, $м^3 \cdot 10^{-6}$	Плотность, $кг/м^3$	Объемная усадка, %
Цилиндр	10,2	14,7	1,0	1,19	840	38,1
Шар	13,0	-	1,0	1,14	877	46,8

Испытания на механическую прочность (крошимость) гранул методом десятикратного сбрасывания гранул с высоты 2 м на бетонный пол с оценкой крошимости гранул показали относительно низкую их крошимость. Механическая прочность цилиндрическихгранул составила 97,5%, из-за более высокой плотность и округлой формы прочность сферических гранул в тесте была достаточно высокой – 99,0%.

Гранулы сферической формы, полученные методом окатывания, обладают более высокими эксплуатационными характеристиками, требуемыми для хранения, транспортирования и механизированного внесения их в почву при рекультивации нарушенных земель.

Заключение

Таким образом это исследование было сосредоточено на оценке возможности окускования торфонавозного компоста путём гранулирования. Исследования показали возможность получения достаточно прочного гранулированного торфонавозного компоста, что свидетельствует о высоких. Дальнейшее исследование позволит проанализировать сопротивление гранул намоканию, определяемое как время,

требуемое для разрушения гранул в водной среде, для оценки их пролонгированного действия и применимость гранулированного торфонавозного компоста на этапах биологической рекультивации горных выработок.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Андроханова В.А.* Ускорение процессов рекультивации техногенных ландшафтов на угольных предприятиях КАТЭКа и Хакасии / В.А. Андроханова, А.Т. Лавриненко // Уголь. – 2012. - №7. - С. 62-64.
2. *Злобина Е.С.* Экологические и технологические аспекты утилизации твердых углеводородных отходов / Е.С. Злобина, А.В. Папин, А.Ю. Игнатова // Вестник Кузбасского государственного технического университета. - 2015. - №3(109). - С. 92-98.
3. *Mikhailov A.* Peatland restoration after open pit mining / A. Mikhailov, A. Kim and O. Prodous // Land Reclamation in Ecological Fragile Areas: Proceedings of the 2nd International Symposium on Land Reclamation and Ecological Restoration (LRER 2017), October 20-23, 2017, Beijing, PR China Edited by Zhenqi Hu. CRCPress. - 2017. - P. 289–294.
4. *Вотолин К.С.* Технологии получения комплексных гранулированных удобрений и эффективность их применения / К.С. Вотолин, С. И. Жеребцов, З. Р. Исмагилов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. - 2016. - № 6. - С.169-177.
5. *Кузнецова Л.М.* Искусственные почвенные грунты / Л.М. Кузнецова, А.В. Михайлов, В.Г. Селеннов // Вестник ТГПУ. - 2009. – Вып. 3 (81). - С. 145-149.
6. *Мустафаев Б.А.* Переработка органических отходов, производство биогумуса – основа воспроизводства плодородия почв / Б.А. Мустафаев, З.Е. Какежанова, А.Б. Кенжетаева // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2012. - № 11. - С. 30–34.
7. *Zhou Y.* Effect of modified humic acid binder on pelletisation of specularite concentrates / Y. Zhou et ai. // Journal of Central South University. April 2015. – 2015. – Vol. 22(4). – P. 1247-1255.
8. *Ринкевич В.П.* Анализ способов получения и рецептур гранулированных композитов различного назначения на основе торфа // Вестник Белорусско-Российского университета. - 2007. - № 4 (17). - С. 172-179.
9. *Mikhailov A.* Granulating of coal fines using peat // XVIII International Coal Preparation Congress, 28 June - 01 July 2016 Saint Petersburg, Russia. Ed.: Litvinenko Vladimir. Springer International Publishing. – 2016. - Vol. 2. – P. 719-725.
10. *Корчевский А.Н.* Окускование полезных ископаемых и продуктов обогащения: учебное пособие // А.Н. Корчевский, Л.И. Серафимова. – Донецк: ГОУВПО «ДонНТУ», 2016. – 140 с.
11. *Сковородников П.В.* Изучение влияния мелассы на характеристики гранулированного биогумуса, полученного методом окатывания / П.В. Сковородников, М.В. Черепанова // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. – 2019. - № 1. - С. 73-82.
12. ГОСТ Р 53117-2008. Удобрения органические на основе отходов животноводства. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2009. - 12 с.
13. *Mikhailov A.V.* The relationship between fractal properties and active porosity of peat compositions / A.V. Mikhailov, O.Z. Garmaev and A.S. Fedorov // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. – 2019. - Vol. 836. - P. 58-62.
14. *Gholipour Zanjani N.* Physical and chemical properties of coal briquettes from biomass-bituminous blends / Gholipour Zanjani N., Zarringhalam Moghaddam A., Dorosti S.// Petroleum & Coal. – 2014. - 56(2). – P. 188-195.

15. *Mikhailov A.V.* Preliminary study of tubular peat extrusion / A.V. Mikhailov et al // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. – 2019. – 560. - 012061.
16. *Mikhailov A.* Tropical peat granulation and laboratory testing // Proceedings of the 15th International peat congress 15 - 19 August 2016, Kuching, Malaysia. - 2016. – P. 579-585.

УДК 62-592.5

РЫБАКОВ А.С.
Санкт-Петербургский горный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АВТОБУСОВ И РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ НАПРАВЛЕННЫХ НА ИХ УСТРАНЕНИЕ

Аннотация. Рассмотрены ежегодное количество дорожно-транспортных происшествий происходящих на территории Российской Федерации и их последствия. Произведён анализ неисправностей подвижного состава Автобусного парка №6 СПб ГУП «Пассажиравтотранс» и определены наиболее важные. Произведён анализ отказов пневматической системы автобусов и выявлено на какую марку приходится наибольшее число отказов. В результате априорного ранжирования определены наиболее значимые факторы, которые совпадают с результатом анализа. Подобрано оборудование, необходимое для устранения неисправностей и модернизации пневматического участка Автобусного парка №6 СПб ГУП «Пассажиравтотранс», и произведено технико-экономическое обоснование.

Ключевые слова: автобус, тормозная система, пневматическая система, пневматический компрессор, пневматические трубки, работоспособность пневматической системы.

RYBAKOV A.S.
Saint-Petersburg Mining University

STUDY OF FAILURES OF PNEUMATIC SYSTEM OF BUSES AND DEVELOPMENT OF MEASURES AIMED AT THEIR ELIMINATION

Abstract. The annual number of road traffic accidents taking place in the territory of the Russian Federation and their consequences were considered. Analysis of faults of rolling stock of Bus Park № 6 of St. Petersburg State Unitary Enterprise "Passazhiravtotrans" was carried out and the most important ones were identified. The failures of the pneumatic system of buses were analyzed and what brand accounts for the largest number of failures. The a priori ranking results in the most significant factors that match the analysis result. The equipment necessary for troubleshooting and modernization of the pneumatic section of Bus Park № 6 of St. Petersburg State Unitary Enterprise "Passazhiravtotrans" has been selected and a feasibility study has been carried out.

Keywords: bus, brake system, pneumatic system, pneumatic compressor, pneumatic tubes, operability of a pneumatic system.

Автомобильный транспорт является самым массовым и самым опасным видом транспорта в Российской Федерации (РФ). Ежегодно на территории РФ происходит более 160 тысяч дорожно-транспортных происшествий (ДТП), в которых гибнет свыше 18 тысяч человек, получают ранения более 200 тысяч человек [1]. Подавляющее большинство ДТП происходят либо при торможении автотранспортных средств (АТС), либо сопровождается торможением. Количество ДТП и тяжесть их последствий во многом зависят от технического состояния и эффективности работы тормозной системы АТС [2].

Тематика работы основана на исследовании и разработки мероприятий,

направленных на поддержание работоспособности пневматической системы автобусов.

Анализ отказов, возникающих при эксплуатации подвижного состава Автобусного парка №6 СПб ГУП «Пассажиравтотранс» позволил выявить наиболее были часто возникающие. Из него следует, что наибольшее число отказов приходится на пневматическую систему, рис. 1 [3, 4].

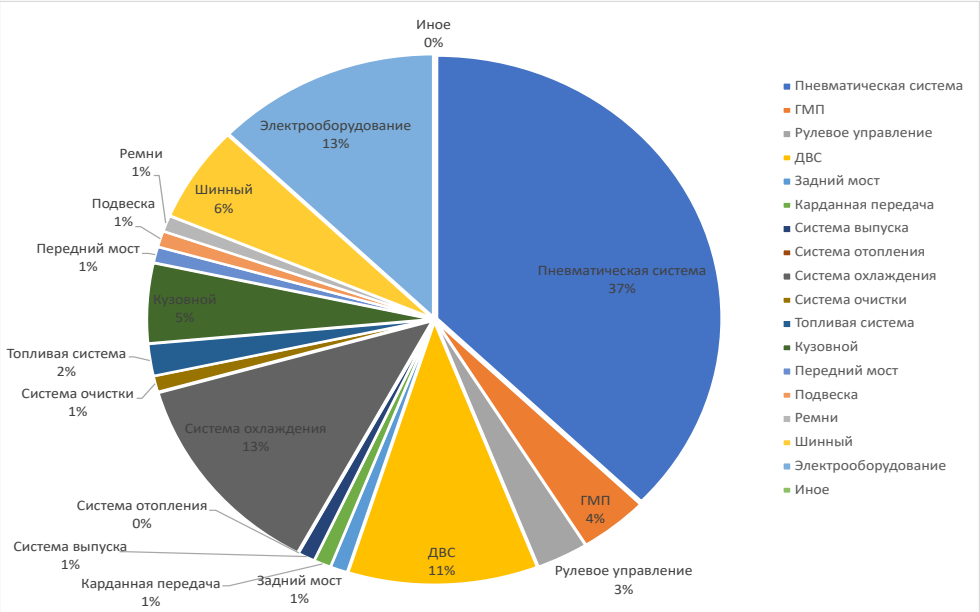


Рисунок 1 - Виды отказов подвижного состава

Неисправность пневматической системы напрямую связана с тормозной системой, в результате отказа которой возникает повышенный риск ДТП. Таким образом, проявление каждого отказа влечёт потенциальный риск для здоровья пассажиров. При диагностировании и последующем устранении отказов автобус простаивает, что ведёт к убыткам для предприятия [2].

Поэтому необходимы дальнейшие исследования и разработка мероприятий, направленных на поддержание работоспособности пневматической системы автобусов, для сокращения простоя их в ремонте.

На данный момент в автобусном парке эксплуатируется 324 автобуса. Для анализа числа отказов пневматической системы был рассмотрен интервал времени: с 01.09.2018 – 01.09.2019, в результате которого были выявлены отказы каждой марки автобусов, пример представлен в диаграмме на рис. 2.

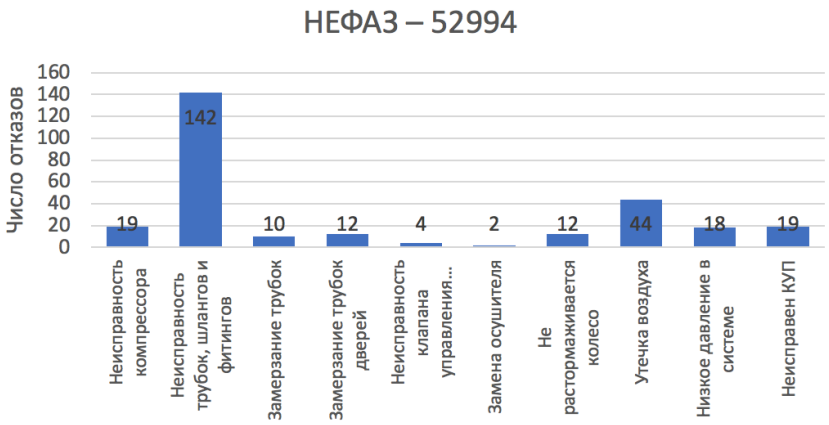


Рисунок 2 - Отказы пневматической системы автобусов НЕФАЗ–52994

Общее число отказов, проявившихся за рассматриваемый период, составляет 1788 шт. и представлено на рис. 3. [5, 6].

Рисунок 3 - Отказы пневматической системы автобусов за год

В табл. 1 представлено суммарное число отказов применительно к каждой модели автобусов [5, 6].

Таблица 1

Число отказов

Марка и модель автобуса	Комплектация	Количество автобусов	Число отказов
ЛиАЗ-52922	MAN D0836LOH04 +ГМП HP 504 C Ecomat	17	147
ЛиАЗ-52922-10	MAN D0836LOH41 +ГМП HP 504 C Ecomat	8	16
ЛиАЗ-529230	SCANIA +ZF Ecomat	6	52
ЛиАЗ-529260	ЯМЗ +ZF-Ecolife 6 AP 1400 B	33	190
Волжанин 62700000010-06-9	Deutz BF6M1013FC +ZF 6 HP 502 C Ecomat	32	174
Волжанин 52700000020-06	Deutz BF6M1013FC +ZF 6 HP 502 C Ecomat	14	65
ВОЛГАБАС 527005-0000010	MAN 2066LOH37 +ZF 6 AP 1700B Ecolife	32	253
VOLGABUS 627105-0000010	MAN D2066LOH37 +ZF 6 AP 1700B Ecolife	42	95
VOLGABUS 6271-0000010	MAN D0836LOH64 +ZF 6 AP 1200B Ecolife	25	169
VOLGABUS 5270-0000010	MAN D0836LOH64 +ZF 6 AP 1200B Ecolife	7	34
Scania CL94UB	SCANIA DC901 +HP 502 CN Ecomat	15	63
НЕФАЗ-5299-30-32	Cummins 6ISBe 270B +Voith D854.3E	29	111
НЕФАЗ-52994	Cummins 6ISBe 270B +Voith D854.3E	21	282
МАЗ-203085	Mercedes OM 906 LA. V/3+ ALLISON T 325w/Ret	17	73
МАЗ-215069	Mercedes OM 926 LA. EEV/3+ ZF-Ecolife 6 AP 1400B	1	4
МАЗ-103486	Mercedes OM 926 LA. EEV/3+ ALLISON T 325w/Ret	25	56

В результате анализа было выявлено, что наибольшее число отказов приходится на автобусы марки НЕФАЗ-52994 и составляет 282 отказа на 21 автомобиль за год, таким образом около 13 отказов на каждый автобус. Диаграмма с распределением числа отказов по факторам представлена на рис. 2. На другие марки, например: ВОЛГАБАС 527005-0000010 – 253 отказа на 32 автобуса, ЛиАЗ-529260 – 190 отказа на 33 автобуса и т.д. [5, 6]. Поэтому в дальнейшем будут рассматриваться только автобусы марки НЕФАЗ-52994.

Для определения наиболее значимого узла пневматической системы автобусов и дальнейшей разработки мероприятий, направленных на поддержание работоспособности, было произведено априорное ранжирование факторов. В качестве которых использовались выявленные отказы пневматической системы. Опрос производился среди технических специалистов, участвующих в поддержании работоспособности пневматической системы автобусов в Автобусном парке №6 СПб ГУП «Пассажиравтотранс», а также в опросе участвовали преподаватели с кафедры ТТП и М.

В результате расчётов было выявлено: $\chi_p^2 = 89{,}69$ и $\chi_t^2 = 16{,}92$, это свидетельствует о том, что $\chi_p^2 > \chi_t^2$ – выполняется гипотеза и мнения опрошенных специалистов согласованы [7]. Построим диаграмму рангов, по оси абсцисс – факторы в порядке возрастания суммы рангов, а по оси ординат – суммы рангов, рис. 4. Из диаграммы следует, что наибольшее влияние на параметр оказывают факторы x_1, x_8 и x_7 (неисправность компрессора, утечка воздуха из системы и не растормаживание колёс), потому что сумма рангов наименьшая, остальные влияют менее существенно.

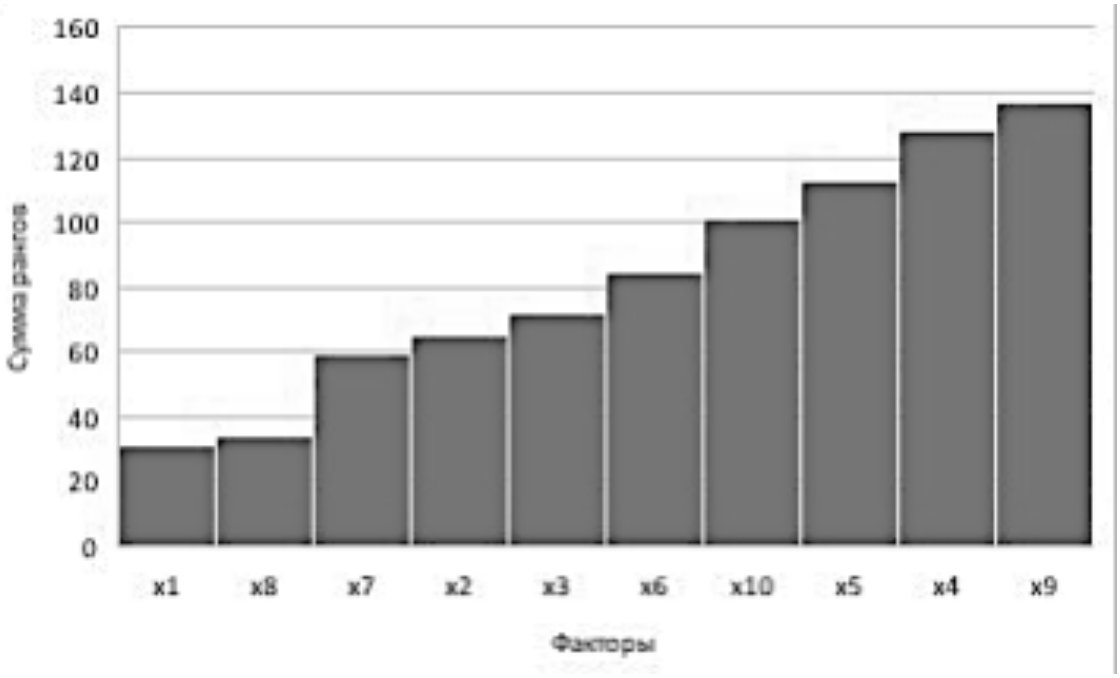


Рисунок 4 - Диаграмма рангов

На основании полученной в результате анализов информации необходимо модернизировать пневматический участок на базе Автобусного парка №6 СПб ГУП «Пассажиравтотранс». Основные работы, которые будут производиться на данном участке: ремонт пневматических компрессоров, диагностирование и обслуживание пневматической системы автобусов.

Для определения технико-экономического обоснования модернизации пневматического участка, произведём расчёт его срока окупаемости. Стоимость необходимого оборудования для модернизации представлена в табл. 2.

Таблица 2

Затраты на внедрение нового оборудования

Вид затрат	Стоимость затрат в руб.
1	2
Переносной компьютер: ASUS X540LA-DM1082T [8]	28000
Стенд для проверки пневмооборудования автомобилей К-245М [9]	180000
Мойка деталей АМ700ЭКО [9]	115000
Станок для расточки блоков цилиндров малых двигателей, COMEC AC110 [10]	637633
Стенд для разборки-сборки пружинного энергоаккумулятора тормозной камеры, ГАРО С-1 [9]	50509
Итого:	1011142

В результате расчётов было определено, что общие затраты на внедрение нового оборудования составят: $C_з = 1011142$ руб [11, 12].

Таким образом, в данной работе был произведён анализ неисправностей, возникающих при эксплуатации подвижного состава Автобусного парка №6 СПб ГУП «Пассажиравтотранс». Выявлено что большее их число приходится на пневматическую систему и на ее элементы, такие как: пневматический компрессор, не герметичность системы. В результате определения технико-экономического обоснования модернизации пневматического участка, его стоимость и срок окупаемости составят 1011142 руб. и 0,87 года соответственно. Модернизация участка включает в себя разработку мероприятий по поддержанию работоспособности пневматической системы автобусов направленную на повышение эффективности выполнения работ ТО и Р и сокращения время простоя.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Статистика ДТП происходящих на территории РФ.
https://гибдд.рф/.
2. *Федотов А.И.* Технология и организация диагностики при сервисном сопровождении. - М.: Издательский центр «Академия», 2015. – 347 с.
3. Отказы и неисправности возникающие в период эксплуатации автобусов в Автобусном парке №6 СПб ГУП «Пассажиравтотранс» за период времени с 01.09.2018 по 31.09.2019 года.
4. *Рыбаков А.С.* Диагностирование пневматического тормозного управления автобусов / А.С. Рыбаков, А.С. Афанасьев // Магистерские слушания. IV Всероссийская межвузовской конференции. - 2019.
5. *Рыбаков А.С.* Актуальность поддержания пневматической системы автобусов в работоспособном состоянии / А.С. Рыбаков, А.С. Афанасьев // Общественная безопасность в сфере дорожного движения: профессиональная подготовка и организационно-правовые инструментарии. Межведомственная научно-практической конференция. - 2020.
6. *Щекин А.В.* Априорное ранжирование факторов. Методические указания к лабораторной работе для студентов. - Хабаровск: Издательство Хабаровского государственного технического университета, 2004. – 12 с.
7. Интернет-магазин «Ситилинк».
https://www.citilink.ru/.
8. Интернет-магазин «ГАРО».
https://spb.garo.cc/katalog/.
9. Интернет-магазин «АЛЬПОКА Групп».

https://www.alpoka.ru/.
10. *Кулик Ю.А.* Методические указания к дипломному проектированию для экономического обоснования дипломных проектов. Составитель: Ю.А. Кулик, д-р экон. наук, проф. – СПб.: СЗТУ, 2003. – 59 с.
11. *Рыбаков А.С.* Исследование и разработка мероприятий по поддержанию пневматической системы автобусов в работоспособном состоянии / А.С. Рыбаков, А.С. Афанасьев // Актуальные проблемы недропользования. XVIII Всероссийская конференция-конкурс студентов и XVI Международный форум конкурс студентов и молодых учёных. - 2020.
12. *Афанасьев А.С.* Техническая диагностика на транспорте. учебное пособие. – СПб. - 2018. – 107 с.

УДК 621:621.824.32:621.822.2

САФИН Р.А.
Санкт-Петербургский горный университет

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ ДЕТАЛИ «КОЛЕНЧАТЫЙ ВАЛ» ДВИГАТЕЛЯ КАМАЗ

Аннотация. В настоящей статье рассматривается проблема разрушения и выпадения упорных полуколец осевого подшипника коленчатого вала высокофорсированных двигателей производства ПАО «КАМАЗ», приводится анализ причин возникновения выявленных дефектов, а также предлагаются конструктивно-технологические решения данной проблемы.

Ключевые слова: разрушение упорных полуколец, смазочное голодание, конструктивно-технологическая модернизация, осевой подшипник, коленчатый вал, двигатель, производство.

SAFIN R.A.
Saint-Petersburg Mining University

STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL MODERNIZATION OF THE CRANKSHAFT OF THE KAMAZ ENGINE

Abstract. This article discusses the problem of destruction and loss of persistent halfrings of the axial bearing of the crankshaft of highly accelerated engines manufactured by KAMAZ, provides an analysis of the causes of the identified defects, and also proposes structural and technological solutions to this problem.

Keywords: destruction of the persistent halfring, lack of lubrication, structural and technological modernization, axial bearing, crankshaft, engine, manufacture.

В современном мире с каждым днем становится все более востребованным повышение эффективности использования узлов и агрегатов изделий машиностроительной отрасли в связи со скоротечностью происходящих событий на планете. Следуя этой тенденции, двигатели ПАО «КАМАЗ» – одного из ведущих предприятий машиностроительной отрасли России - подвергаются форсированию для улучшения их технико-экономических показателей. При этом стоит отметить, что повышение таких эксплуатационных характеристик двигателей, как величина крутящего момента, количество максимальных оборотов и мощности, ведут за собой повышение нагруженности на несущие части агрегата, что, в свою очередь, ведет к трению, повышению температуры и скорому выходу из строя всего двигателя [1-4].

На практике было выявлено, что при использовании высокофорсированных двигателей происходит износ упорных полуколец осевых подшипников коленчатого вала (КВ) (рис. 1) с падением их обломков в поддон картера. После поломки осевого подшипника коленчатый вал начинает смещаться вдоль продольной оси, что ведет к заклиниванию и разрушению деталей цилиндропоршневой группы и кривошипно-шатунного механизма [1].

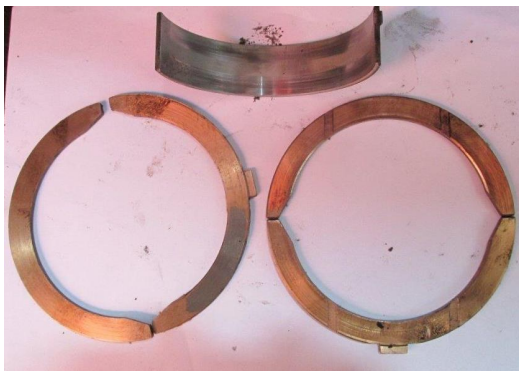


Рисунок 3 – Критический износ упорных полуколец пятой коренной шейки КВ

После проведения анализа возникновения причин разрушения и выпадения упорных полуколец (рис. 2), а также проворота вкладышей, на предприятии были выявлены следующие недостатки действующего технологического процесса [3]:

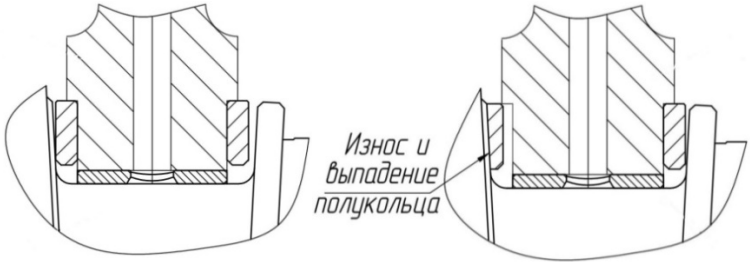


Рисунок 4 – Схема разрушения узла пятой коренной шейки КВ

1. Не выдержан размер ширины пятой коренной опоры.
2. Не выдержано требование на полное биение торцов пятой коренной опоры.

В качестве дополнительных проблем при обеспечении необходимого качества рассматриваемого узла можно отметить отслоение нанесенного на поверхность слоя бронзы по месту сцепления со стальной основой на торцевой поверхности детали и появление трещин в бронзовом слое.

На предприятии было решено провести поверочные стендовые испытания опытных полуколец осевых подшипников. Были выявлены следующие несоответствия:

1. Заметны места схватывания и местные повреждения трущихся поверхностей полуколец.
2. Из-за недостатка количества маслораздаточных каналов на поверхности трения верхнего и нижнего полуколец осевой подшипник работал в условиях смазочного голодания. В результате трибологические поверхности подвергались высоким температурным нагрузкам в связи с недостатком их охлаждения.
3. Продолжающаяся работа в данных неблагоприятных условиях и дальнейшее увеличение нагрузки на коленчатый вал за счет форсирования двигателя явились причиной ускоренного износа поверхностей трения упорных полуколец и коренной шейки вала. Частицы, подвергшиеся разрушению, можно найти в поддоне двигателя.

Было определено, что продолжать эксплуатацию полуколец с данными дефектами нецелесообразно, так как это приведет к разрушению всего двигателя в целом и его дорогостоящему ремонту.

На основе вышеописанных данных, консультации с поставщиком упорных полуколец и справочной литературы [5-10], были предложены следующие конструктивно-технологические решения

1. Ужесточить требования к шероховатости на сопрягаемых поверхностях

коленчатого вала вплоть до Ra ≤ 0,2 мкм для повышения работоспособности упорных полуколец [2, 6, 8].

Чтобы реализовать данный вариант решения проблемы, было разработано специальное приспособление (рис. 3) для токарного станка 16К20 [3, 5, 7]. Полировальная лента вручную наматывается на один из шкивов при помощи рукоятки на приспособлении во время вращения коленчатого вала в патроне станка, за счет чего обеспечивается процесс полирования торцов пятой коренной шейки вала.

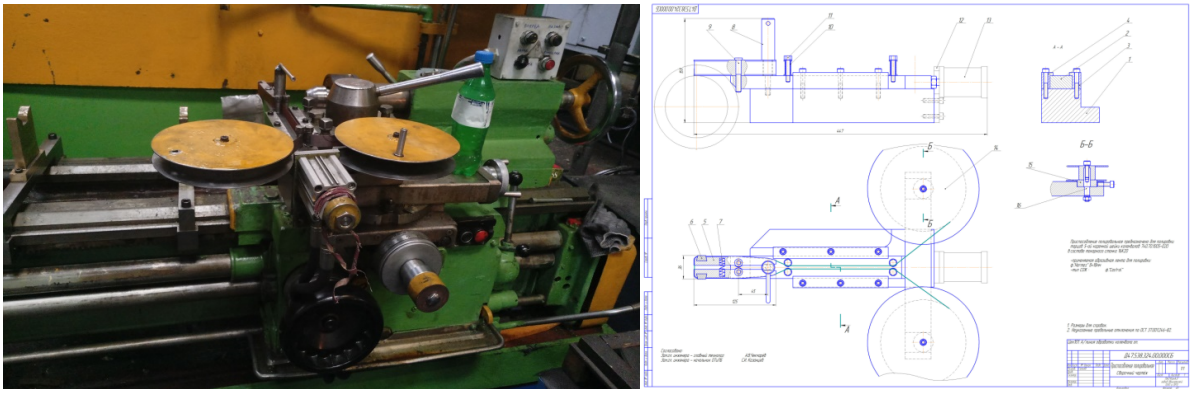


Рисунок 5 – Приспособление для обеспечения полировки торцов 5 коренной шейки КВ

2. Модернизировать упорные полукольца для обеспечения надлежащей смазки и требуемого теплоотвода [1, 5, 6, 10].

Для реализации данной задачи были проведены расчеты согласно рекомендациям в [2, 6, 9] и принято решение сделать дополнительные эквидистантные радиальные маслоподводящие канавки в количестве 20 штук (рис. 4).

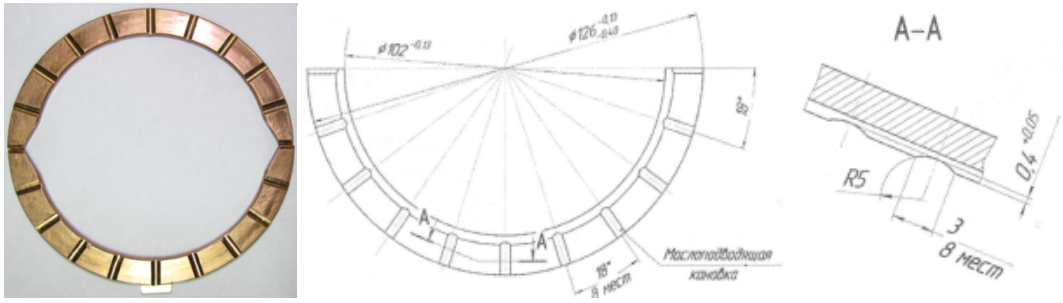


Рисунок 6 – Модернизированное упорное полукольцо с канавками

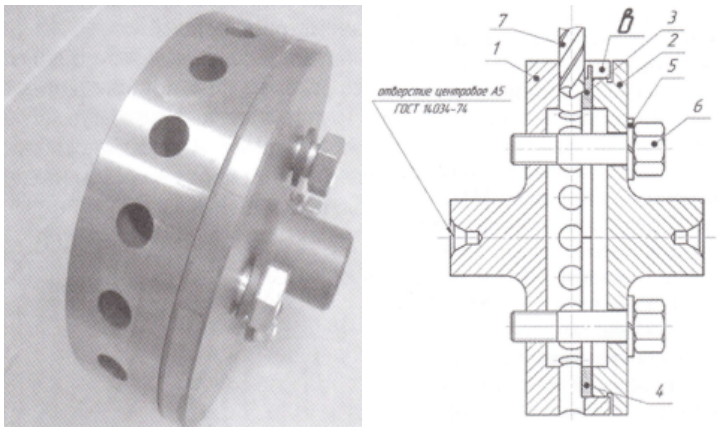


Рисунок 7 – Кондуктор и его эскиз

Чтобы выполнить данные канавки был разработан специальный кондуктор [3, 7-9] (рис. 5).

В качестве вывода можно сказать, что средства, предложенные для совершенствования технологии изготовления коленчатого вала и повышения его надежности, показали свою эффективность в стендовых испытаниях. Но для полного решения проблемы и дальнейшего применения на предприятии требуются дополнительные исследования и испытания на стендовых установках.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Снарский С.В.* Повышение надёжности двигателей производства ПАО КАМАЗ за счет применения модернизированных осевых подшипников коленчатого вала / С.В. Снарский [и др.]. – СПб.: Двигателестроение, 2017. – С. 3-7.
2. *Воскресенский В.А.* Расчет и проектирование опор скольжения (жидкостная смазка): Справочник / В.А. Воскресенский, В.И. Дьяков. – М.: Машиностроение, 1980. – 224 с.
3. *Денисов А.С.* Основы работоспособности технических систем: учебник / А.С. Денисов. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2014. – 312 с.
4. Двигатели газовые КамАЗ 820.60-260, 820.61-260, 820.62-300, 820-63-320. ТУ 37.104.311. – 2012.
5. *Савельев И.В.* Курс общей физики: - Учеб. пособие. Механика. Молекулярная физика. 3-е изд., испр. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит.,1987. Т. 1. – 432 с.
6. *Типей Н.* Подшипники скольжения. Расчет, проектирование, смазка / Н. Типей, Н. Константинеску, О. Бице. – Бухарест: Изд-во академии Румынской Народной Республики, 1964. – 457 с.
7. *Валетов В.А.* Технология приборостроения. Учеб. пособие / В.А. Валетов, К.П. Помпеев. – СПб.: НИУ ИТМО, 2013. – 234 с.
8. Основы технологии машиностроения: Учеб. пособие / А.Е. Вороненко [и др.]. – СПб.: СЗТУ, 2010. – 210 с.
9. *Маталин А.А.* Технология машиностроения: учебник для вузов. 3-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2010. – 512 с.
10. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.1 / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Суслова. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 912 с.

УДК 62-50

СИНЮКОВ А.В.
Липецкий государственный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ВЕКТРОРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛА ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ

Аннотация. В работе произведено моделирование и анализ векторной системы управления асинхронным электроприводом. Основными критериями при оценке полученных результатов являлись: сложность реализации, энергоэффективность работы инвертора, точность поддержания скорости, пульсации крутящего момента, скорость реакции системы на возмущения со стороны приводного механизма, влияние на питающую сеть.

Ключевые слова: электропривод; моделирование; векторная система; широтно-импульсная модуляция.

SINYUKOV A.V.
Lipetsk State Technical University

RESEARCH AND ANALYSIS OF A VECTOR CONTROL SYSTEM FOR AN ASYNCHRONOUS MOTOR WITH VARIOUS METHODS OF GENERATING A PULSE- WIDTH MODULATION SIGNAL

Abstract. In this paper, a vector control system for an asynchronous electric drive is modeled and analyzed. The main criteria for evaluating the results were: complexity of implementation, energy efficiency of the inverter, accuracy of speed maintenance, torque pulsation, the speed of the system 's response to disturbances from the drive mechanism, and the impact on the power supply network.

Keywords: electric drive; modeling; vector system; pulse-width modulation.

Система векторного управления асинхронным электродвигателем получила широкое применение в различных отраслях промышленности, она базируется на дифференциальных уравнениях, описывающих электрическую машину, как в статике, так и в динамике. Использование данной системы позволяет добиться качественного управления моментом двигателя и получить необходимые формы переходного процесса путем изменения амплитуды и мгновенной фазы тока статора или напряжения статора [1-11].

В рассматриваемой системе силовая часть реализована на базе автономного инвертора напряжения. Формирование вектора напряжения статора осуществляется с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ) [12]. Сигнал широтно-импульсной модуляции на базе инвертора напряжения можно получить одним из способов:

1) Релейно-векторное формирование ШИМ в замкнутом контуре слежения за мгновенными значениями токовых ошибок без принудительной модуляции. В данном случае в качестве опорного вектора выступает вектор потокосцепления ротора, в системе возможно осуществлять управление как скоростью, так и потокосцеплением. Обратная связь формируется на основании показаний датчиков тока и данных с энкодера. Расчет потокосцепления осуществляется на основании известных для измерения параметров. Анализ процессов формирования момента, скорости и тока

статора показал, что в момент, когда отсутствует задание на скорость, к обмоткам статора приложено напряжение, вызывающее протекание тока намагничивания, необходимого для создания номинального потокосцепления ротора. В процессе разгона поддерживается постоянный динамический момент, при набросе нагрузки просадки скорости не происходит, а момент формируется с небольшим перерегулированием. Таким образом, система релейно-векторного управления позволяет обеспечить полное управление АД в динамике.

2) Синусоидальная ШИМ на основе сравнения сигналов управления с некоторым опорным сигналом. В такой системе происходит добавление сигнала предмодуляции третьей гармоники к значению сигнала генератора основной частоты. Анализ процессов формирования момента, скорости и тока статора показал, что в начальный момент формируется ток намагничивания величиной, не превышающий двукратного номинального значения, необходимый для создания номинального потокосцепления ротора. При набросе нагрузки формирование момента происходит практически без перерегулирования. Использование данного способа позволяет получить хорошие показатели переходных процессов.

3) Пространственно-векторный способ модуляции происходит с использованием базовых векторов, характеризующих определенное состояние ключей инвертора в трехфазной системе координат. В данном случае формирование номинального потока двигателя осуществляется значительным броском тока статора, при набросе нагрузки момент формируется с допустимым перерегулированием. Таким образом, система пространственно-векторного управления позволяет реализовать желаемые переходные процессы.

Оценивание показателей пульсации крутящего момента производилось на основании полученных при моделировании в среде Matlab [13-15] осциллограмм электромагнитного момента двигателя при работе в установившемся режиме при номинальной нагрузке для различных типов ШИМ, результаты моделирования представлены на рис. 1-3. Средняя величина амплитуды пульсаций электромагнитного момента для релейно-векторной и пространственно-векторной ШИМ лежит в диапазоне 120–130 Н·м, для синусоидальной ШИМ в пределах 150–160 Н·м. Таким образом, синусоидальная ШИМ обеспечивает несколько худшее качество электромагнитного момента, однако величина пульсаций все равно мала и не превышает 7% от номинального значения момента.

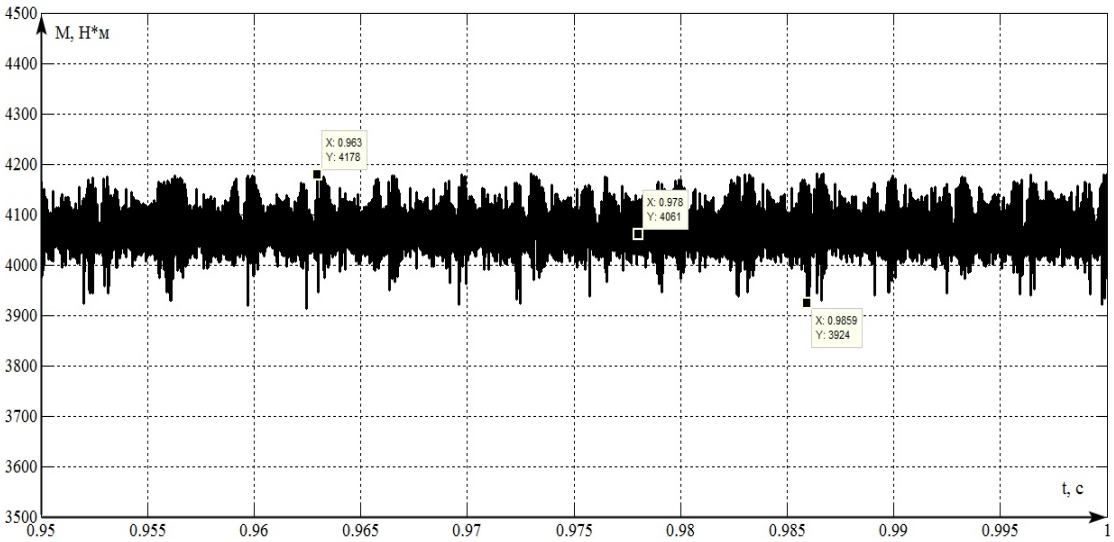


Рисунок 1 - Пульсация крутящего момента (релейно-векторная ШИМ)

Время реакции системы на возмущение оценивалось следующим образом, осуществлялся наброс номинальной нагрузки во время работы на холостом ходу двигателя. Из полученных графиков (рис. 4-6) видно, что система с релейно-векторным управлением обладает на порядок более высоким быстродействием по каналу регулирования момента, что связанно с отсутствием фиксированной частоты коммутации ключей.

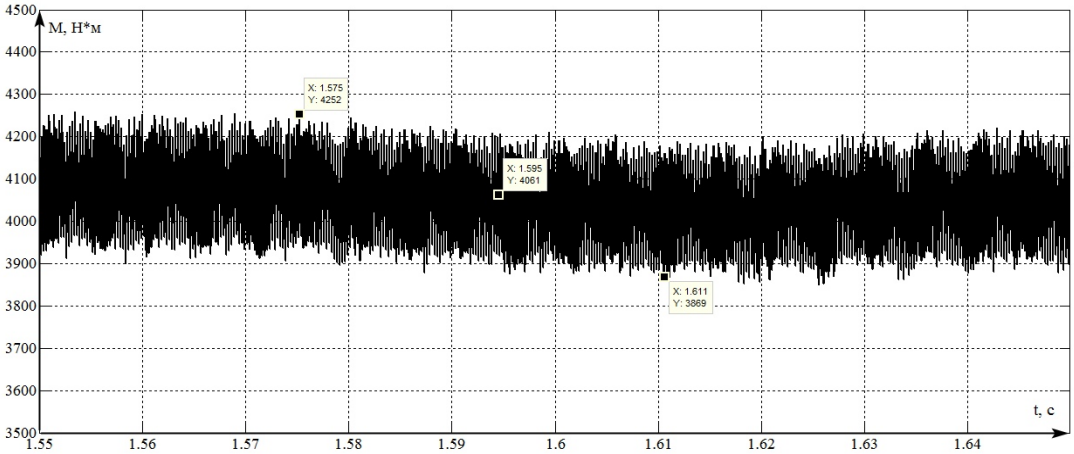


Рисунок 2 - Пульсация крутящего момента (синусоидальная ШИМ)

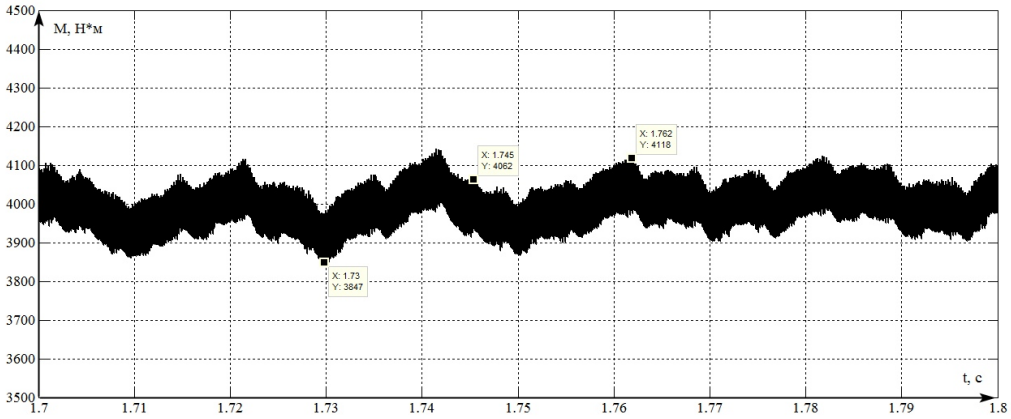


Рисунок 3 - Пульсация крутящего момента (пространственно-векторная ШИМ)

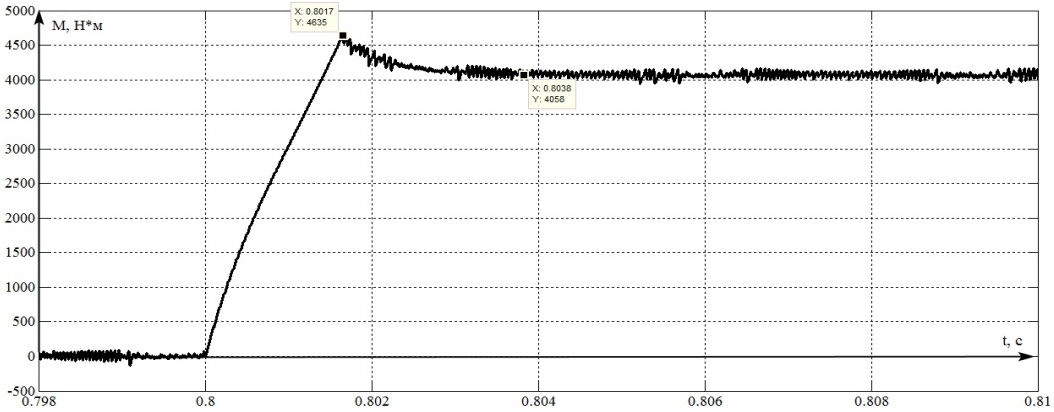


Рисунок 4 - Переходный процесс (релейно-векторная ШИМ)

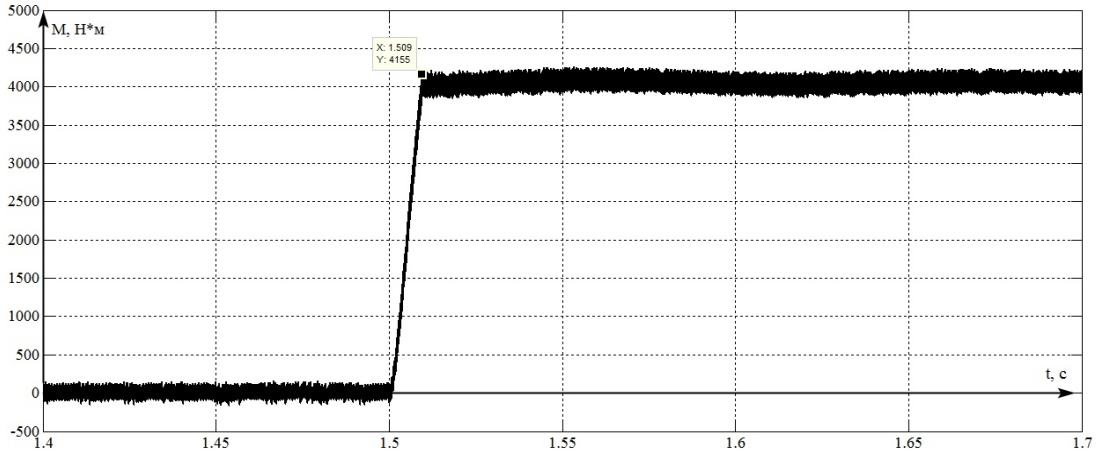


Рисунок 5 - Переходный процесс (синусоидальная ШИМ)

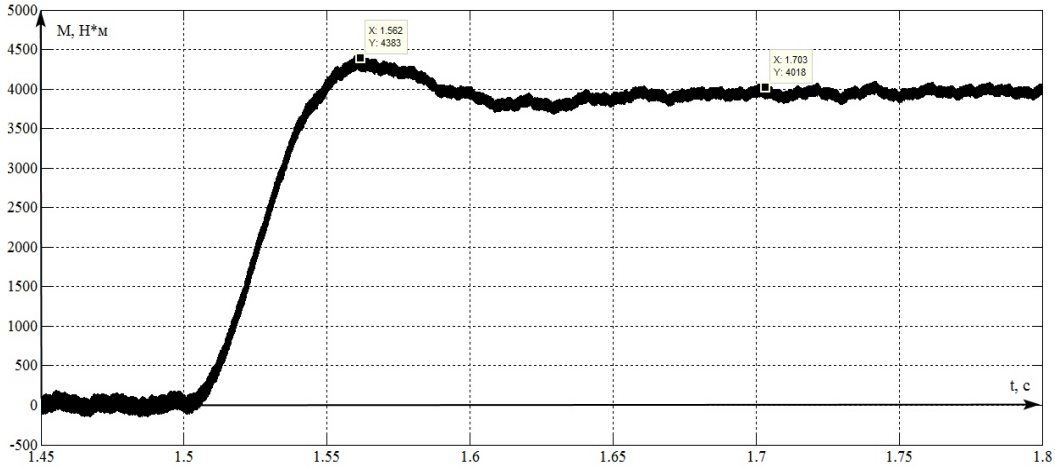


Рисунок 6 - Переходный процесс (пространственно-векторная ШИМ)

Важным критерием при оценке алгоритмов коммутации силовых ключей работы служат его энергетические показатели. Для оценки коммутационных потерь в инверторе использовался специальный блок, позволяющий произвести расчет потерь на основании справочных данных энергии потерь при включении и выключении транзистора IRG7T450HF12 производства International Rectifier. При оценке потерь частота коммутации для пространственно-векторной и синусоидальной ШИМ была задана величиной 2,5 кГц. Анализ полученных результатов показал, наименьшие потери достигаются при работе пространственно-векторной ШИМ, они на 31,5% и 29,1% меньше, чем у синусоидальной и релейной ШИМ соответственно. Это объясняется более оптимальным порядком коммутации ключей, за счет минимизации числа их переключения в периоде модуляции. Следует также отметить, что величина динамических потерь для релейно-векторной ШИМ не является величиной постоянной, что сильно проявляется в переходных режимах. Это обусловлено отсутствием фиксированной частоты коммутации и релейным принципом работы.

Для анализа гармонического состава фазного тока, был использовано разложение кривой фазного тока в ряд Фурье. Эту задачу позволяет решить стандартный инструмент FFT Analysis в программной среде Matlab, работающий в графическом интерфейсе Powergui. Для анализа осциллограммы тока при моделировании её необходимо сохранить в рабочее пространство блока Workspace. Для

оценки качества гармонического состава выходного фазного тока частота коммутации для пространственно-векторной и синусоидальной ШИМ была выбрана величиной 1 кГц. Анализ полученных данных показал, что наиболее широкий спектр гармоник создается релейно-векторной ШИМ, причем отношение их амплитуд по отношению к основной также имеет большие значения, чем для синусоидальной и пространственно-векторной ШИМ.

Данная работа выполнена под руководством доцента Синюковой Т.В.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Синюкова Т.В.* Моделирование векторной системы управления асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором / Т.В. Синюкова, А.В. Синюков // Актуальные проблемы энергосбережения и энергоэффективности в технических системах. Тезисы докладов 3-ей Международной конференции с элементами научной школы. - 2016. - С. 139-141.
2. *Синюков А.В.* Модернизация систем управления промышленных механизмов металлургических предприятий / А.В. Синюков, Т.В. Синюкова // Школа молодых ученых по проблемам технических наук. Сборник материалов областного профильного семинара. - 2018. - С. 267-269
3. *Алексеев В.В.* Анализ динамических режимов в частотно-регулируемом асинхронном электроприводе при различных структурах и алгоритмах управления / В.В. Алексеев, А.П. Емельянов, А.Е. Козярук // Электротехника. - 2016. - № 4. - С. 2-9.
4. *Алексеев В.В.* Сравнительный анализ моделей систем автоматизированного асинхронного электропривода с векторным управлением / В.В. Алексеев, А.Е. Козярук // Электротехника. - 2013. - № 12. - С. 47-51.
5. *Шклярский Я.Э.* Управление активным выпрямителем напряжения в составе частотно-регулируемого привода при провалах напряжения / Я.Э. Шклярский, А.И. Барданов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - 2018. - № 4. - С. 414-425.
6. *Алексеев В.В.* Выбор системы координат при реализации алгоритма векторного управления асинхронным электроприводом / В.В. Алексеев [и др.] // Электротехника. - 2010. - №12. - С. 2-9.
7. *Синюков А.В.* Энергоэффективная система управления / А.В. Синюков, Т.В. Синюкова // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики, электротехники и энергоэффективности. Материалы III Международной научно-практической конференции. - 2019. С. - 574-580.
8. *Скамьин А.Н.* Схема замещения асинхронного двигателя при наличии высших гармоник / А.Н. Скамьин [и др.] // Научный обозреватель. - 2016. - № 3. - С. 88-90.
9. *Мещеряков В.Н.* Релейно-векторное управление электромеханическими системами на производственных механизмах / В.Н. Мещеряков, О.В. Крюков // Великие реки 2019. Труды научного конгресса. - 2019. - С. 42-44.
10. *Синюкова Т.В.* Энергосбережение в системах управления электроприводами производственных механизмов / Т.В. Синюкова, П.Н. Левин, А.В. Синюков // Актуальные проблемы энергоэффективности в технических науках. Тезисы докладов 3-ей Международной конференции с элементами научной школы. - 2016. - С. 138-139.
11. *Мещеряков В.Н.* Коррекция векторной системы управления асинхронным электроприводом для повышения энергоэффективности / В.Н. Мещеряков, О.В. Данилова // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. - 2019. - № 1 (42). - С. 24-29.

12. *Маклаков А.С.* Гибридный алгоритм модуляции на основе пространственно-векторной ШИМ и ШИМ с удаление выделенных гармоник // Вестник Южно-уральского государственного университета. Серия: Энергетика. - 2018. - Т. 18. № 1. - С. 92-100.
13. *Синюков А.В.* Синтез нейроконтроллера NORMA-L-2 / А.В. Синюков, Т.В. Синюкова // Школа молодых ученых. Материалы областного профильного семинара. 2019. - С. 170-175.
14. *Мещеряков В.Н.* Модель асинхронного двигателя с преобразователем частоты / В.Н. Мещеряков, Тт.В. Синюкова // Управление большими системами. Материалы IX Всероссийской школы-конференции молодых ученых. - 2012. - С. 168-169.
15. *Синюкова Т.В.* Синтез индентификаторов частоты вращения ротора асинхронного двигателя, основанных на концепции NN / Т.В. Синюкова, Е.В. Сенцов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. - 2019. - № 9. - С. 13-20.

УДК 502.132

СОЛОВЬЕВ И.В.
Санкт-Петербургский горный университет

СНИЖЕНИЕ НАЛИПАНИЯ ВЫСОКОВЯЗКИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ПОВЕРХНОСТЬ МЕТАЛЛА

Аннотация. В работе рассматриваются методы снижения налипания высоковязких нефтепродуктов на поверхность металла путем уменьшения их вязкости с помощью нагрева металлической пластины и покрытия поверхности пластины антиадгезионным лаком. В работе представлен лабораторный эксперимент, моделирующий процесс воздействия внешних факторов на высоковязкий углеводород с целью уменьшения его вязкости, что приведет к снижению налипания к стенкам оборудования, транспортирующего данный вид сырья. Целью эксперимента являлось доказательство, что с помощью покрытия внутренних стенок оборудования, транспортирующего высоковязкий углеводород, антиадгезионным лаком, будет снижаться адгезия поверхностных слоев углеводорода и оборудования, улучшаться скольжение. В ходе эксперимента было доказано, что применение антиадгезионного лака и нагрев пластины может снижать налипание высоковязкого углеводорода по поверхности металла.

Ключевые слова: налипание; уменьшение вязкости; высоковязкие углеводороды; нагрев металла; антиадгезионный лак.

SOLOVYOV I.V.
Saint-Petersburg Mining University

REDUCTION STICKING HIGH VISCOSITY HYDROCYRBONS OF THE METAL SURFACE

Abstract. The paper presents methods to reduce the sticking of highly viscous oil products to the metal surface by reducing their viscosity by heating the metal plate and coating the surface of the plate with anti-adhesive varnish. The paper presents a laboratory experiment simulating the process of the influence of external factors on a highly viscous hydrocarbon in order to reduce viscosity of raw, which will lead to a decrease in adhesion to the walls of equipment transporting high viscosity oil material. The purpose of the experiment was to prove that by coating the inner walls of equipment transporting high-viscosity hydrocarbons with anti-adhesive varnish, the adhesion of the surface layers of hydrocarbon and equipment will decrease, and slip will improve. During the experiment, it was proved that the use of release varnish and heating the plate can reduce the sticking of highly viscous hydrocarbon on the metal surface.

Keywords: sticking; viscosity reduction; high-viscosity hydrocarbons; metal heating; anti-adhesive varnish.

Введение

В настоящее время существует проблема утилизации нефтяных отходов, представленных в виде нефтяных озер выветрившейся сырой нефти. В результате техногенных катастроф образовались разливы углеводородов, которые угрожают окружающей среде, оказывают крайне негативное влияние на флору и фауну. Суровые погодные условия в совокупности с испарением летучих компонентов способствовали

стабилизации водонефтяной эмульсии. Наличие мелких твердых частиц и таких материалов, как асфальтеновые воски способствовали увеличению вязкости материала. Сейчас экскавация и транспортировка выветрившейся сырой нефти в нефтяных озерах уже давно представляют большой интерес. Мелиорация земель и экологическое восстановление нефтезагрязненных территорий является важным природоохранным направлением [1].

Роль вязкости в применении отдельных видов нефтепродуктов связана с ее величиной. Течение минеральных масел и более вязких продуктов, как правило, имеет ламинарный характер. В соответствии с этим вязкость является практически единственным или, во всяком случае, наиболее важным фактором сопротивления течения [2].

При транспортировке данного вида отходов существует проблема налипания высоковязких углеводородов к стенкам оборудования, что приводит к увеличению эксплуатационных затрат, связанных с введением деэмульгаторов и увеличению необходимой мощности агрегатов, транспортирующих данный вид отходов.

Таким образом, существует необходимость в создании методов уменьшения прилипания углеводородов к поверхности металла [3].

В работе представлен лабораторный эксперимент, моделирующий процесс воздействия внешних факторов на высоковязкий углеводород с целью уменьшения его вязкости, что приведет к снижению налипания к стенкам оборудования, транспортирующего данный вид сырья [4].

Цель эксперимента – с помощью покрытия внутренних стенок оборудования, транспортирующего высоковязкий углеводород, антиадгезионным лаком, будет снижаться адгезия поверхностных слоев углеводорода и оборудования, улучшаться скольжение.

При термическом воздействии на рабочие органы оборудования будет снижаться вязкость транспортируемого сырья, что приведет к уменьшению прилипания [5, 6, 7].

Материалы и методы

В качестве модельного нефтепродукта была использована мастика битумная кровельная Profimast. Моделирование процесса налипания осуществлялось на П-образных металлических пластинах из стали марки Ст3, размерами 60×100 мм, представленных на рис. 1. Толщина металла – 2 мм, поверхностная шероховатость Ra = 1,6 мкм.

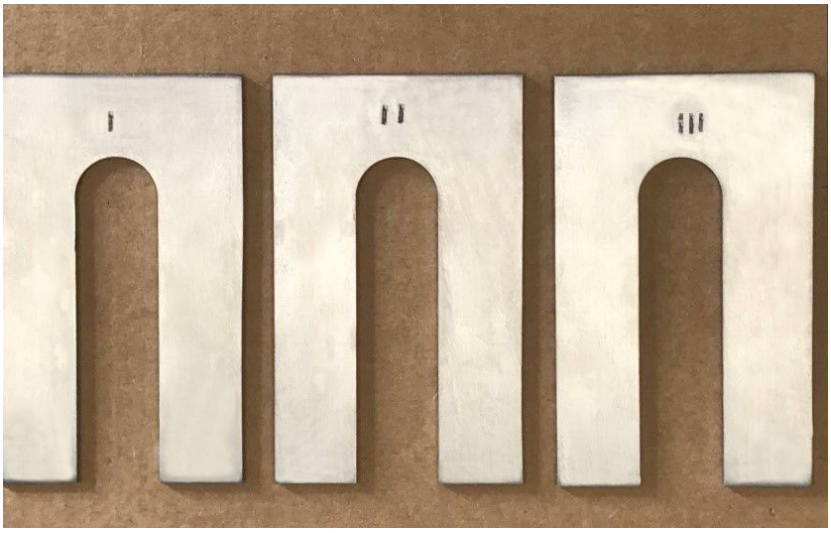


Рисунок 8 – Металлические образцы

Эксперименты проводились лабораторных условиях при температуре 23-27 °С. и атмосферном давлении 765 мм рт. ст. Номер опыта соответствует номеру пластины.

В первом опыте рассматривается процесс взаимодействия пластины, нагретой до 200 °С, в муфельной лабораторной печи SNOL 7,2/900 с моделью углеводородного высоковязкого сырья. На часть нагретой пластины нанесен слой углеводорода толщиной 0,5 мм. После остывания пластины до комнатной температуры на вторую часть пластины также наносится слой нефтепродукта толщиной 0,5 мм.

Во втором опыте рассматривается процесс взаимодействия пластин покрытых антиадгезионным фторсодержащим защитным покрытием с моделью углеводорода. Фторэпоксидный лак ФЛК-ПАсп (с фторопластом) по ТУ 2311-004-54226479-2007; применяется для защиты нефтедобывающего оборудования от загрязнений и налипания парафинов.

На одну часть пластины нанесен слой лака. На обе части пластины, температура которой равна комнатной, нанесен слой мастики толщиной 0,5 мм.

В третьем опыте произведено совместное воздействие: нанесение на часть пластины слоя антиадгезионного лака и нагрев пластины до 200 °С.

Результаты

В ходе первого опыта при нанесении мастики на часть нагретой пластины наблюдалось стекание сырья по пластине вниз с образованием скопления сырья в нижней части пластины. При нанесении на пластину, температура которой равна комнатной, стекание нефтепродукта не наблюдалось. Кроме этого, процесс налипания углеводорода при намазывании сырья на нагретую пластину проходил менее интенсивно, чем на пластину с комнатной температурой (рис. 2).

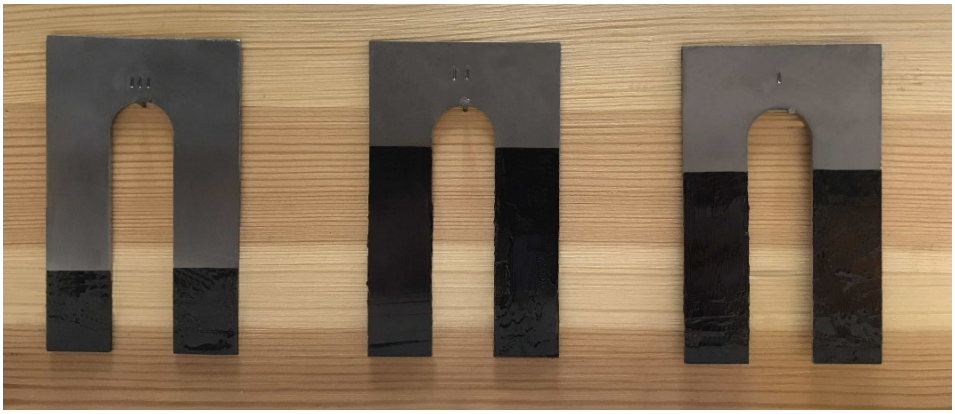


Рисунок 2 – Металлические образцы с нанесенным нефтепродуктом

Вывод по первому опыту: нагретая до 200 °С пластина снижает вязкость углеводородного сырья, что, в свою очередь, снижает налипание на пластину в сравнении с пластиной, температура которой равна 23-27 °С.

В ходе второго опыта установлено, что часть пластины, на которой был нанесен лак, меньше подвержен налипанию. Равномерное распределение слоя по всей поверхности части пластины с лаком и образовавшаяся внизу зона скопления при стекании доказательство утверждения выше.

Вывод по второму опыту: при нанесении на поверхность пластины антиадгезионного лака улучшает скольжение между поверхностным слоем пластины и поверхностным слоем модели углеводорода.

В ходе третьего опыта установлено, что при покрытии лаком и нагреве происходит сложение результатов двух предыдущих опытов: равномерное распределение по поверхности, меньшее налипания на пластину модели углеводорода

и стекание нефтепродукта с поверхности металла.

Вывод по третьему опыту: при покрытии пластины антиадгезионным лаком и нагревом ее до температуры 200 °С улучшается скольжение между поверхностью пластины и нефтепродуктом и снижается его вязкость.

Заключение

Таким образом, в ходе эксперимента было доказано, что применение антиадгезионного лака и нагрев пластины может снижать налипание высоковязкого углеводорода по поверхность металла. Следовательно, при нагреве стенок рабочего органа машины или стенки трубопровода, а также нанесении антиадгезионного лака снижается налипание нефтепродуктов, что приводит к снижению энергозатрат, созданию новых способов и технологий утилизации высоковязких нефтяных отходов, снижению эксплуатационных затрат.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Хабаров А.П.* Исследование параметров транспортирования высоковязких нефтей в виде эмульсий с целью их оптимизации // Записки Горного института. - 2011. - Т.194. - С. 175-178.
2. *Николаев А.К.* Выбор рациональной температуры подогрева высоковязкой нефти и высокозастывающей нефти при перекачки по трубопроводу / А.К. Николаев, А.В. Климко // Записки Горного института. - 2018. - Т.220. - С. 564-566.
3. *Проскуряков Р.М.* Неразрушающие методы контроля качества и количества нефтяных потоков / Р.М. Проскуряков, А.В. Коптева // Записки Горного института. - 2016. - Т.220. - С.564-567.
4. *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. – 206. - P. 668–675.
5. *Анчита Хорхе*. Технология HYDRO-IMP для переработки тяжелой нефти // Записки Горного института. - 2017. - Т. 224. - С. 229-234.
6. *Борзенко Е.И.* Исследование течения вязкой жидкости в Т-образном канале с условиями прилипание – скольжение на твердой стенке / Е.И. Борзенко, А.О. Дьякова // Вестник томского государственного университета. - 2016. - №4. - С. 44-56.
7. *Зеньков С.А.* Анализ возможного повышения производительности экскаваторов при устранении адгезии грунта к ковшу / С.А. Зеньков, Н.А. Балахонов, К.А. Игнатьев // Вестник МГСУ. - 2014. - № 2. - С. 98-104.
8. *Зеньков С.А.* Планирование эксперимента по исследованию влияния параметров теплового воздействия на сопротивление сдвигу грунта / С.А. Зеньков [и др.] // Механики XXI веку. - 2005. - № 4. - С. 52-56.
9. *Зеньков С.А.* Применение оборудования теплового воздействия для снижения адгезии грунтов / С.А. Зеньков [и др.] // Механики XXI веку. - 2010. - № 9. - С. 129-132.
10. *Khrabrov A.P.* Calculation of hydraulic transport of high viscosity oil / A.P.Khrabrov, V.I., Alexandrov // Problems of gathering, preparation and transport of oil and oil products. - 2010. - № 2 (80). - P. 245-249.
11. *Проскуряков Р.М.* Построение системы диагностики технического состояния нефтепровода на основе постоянного пульсирующего магнитного поля / Р.М. Проскуряков, А.С. Дементьев // Записки Горного института. - 2016. - Т.218. - С.59-63.
12. *Голдобина Л.А*. Анализ причин коррозионных разрушений подземных трубопроводов и новые решения повышения стойкости стали к коррозии / Л.А. Голдобина, П.С. Орлов // Записки Горного института. - 2016. - Т.219. - С.459-464.
13. *Голдобина Л.А*. Снижение последствий техногенных катастроф при эксплуатации

подземных трубопроводов внедрением методики определения мест межкристаллитной коррозии / Л.А. Голдобина, П.С. Орлов // Научно-технический журнал НИИТТС «Технико-технологические проблемы сервиса». - 2010. - № 4 (14). - С. 18-25.
14. *Васильева М.А.* Исследование полимерного материала рабочей камеры-канала магнитного насоса для перекачивания тяжелых нефтей / М.А. Васильева, С. Фёйт // Записки Горного института. - 2016. - Т.221. - С.651-654.
15. *Войтович А.В.* Истощение запасов. Перспектива битуминозной нефти / А.В. Войтович, Т.И. Альмендингер // Булатовские чтения. – 2017. – Т. 1. - С. 39-41.

УДК 62-242.2: 621.941.1

СУЛЕЙМАН Т. М.
Санкт-Петербургский горный университет

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ПОРШНЯ ДВС С ОВАЛЬНО-БОЧКООБРАЗНЫМ ПРОФИЛЕМ

Аннотация. Рассмотрены конструктивные особенности поршней двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Отмечены основные направления модернизации технологического процесса изготовления поршня – повышение точности обработки трущихся поверхностей и обеспечение необходимого уровня их износостойкости. Указано, что обработка поршня с овально-бочкообразным профилем представляет определенные сложности вследствие сочетания движений инструмента в продольной и поперечной плоскости. Предложены методы решения указанной задачи, основанные на применении станков с ЧПУ в сочетании с копирными устройствами.

Ключевые слова: поршень, овально-бочкообразный профиль, токарная обработка по копиру, износостойкость.

SULEIMAN T.-F. M.
Saint-Petersburg Mining University

PROCESS IMPROVEMENT FOR PISTON ICE WITH OVAL SIDE PROFILE

Abstract. Design features of pistons of internal combustion engines (ICE) are considered. The basic directions of modernization of the piston manufacturing technological process are marked - increase of accuracy of processing of rubbing surfaces and maintenance of necessary level of their wear resistance. It is specified that processing of the piston with an oval-sided profile presents certain difficulties due to the combination of tool movements in longitudinal and transverse plane. Methods for solving the above problem based on the use of CNC machines in combination with copying devices are proposed.

Keywords: piston, oval side profile, copier turning, wear resistance.

В настоящее время большая часть автомобилей, в том числе и карьерного автотранспорта, таких как самосвалы, экскаваторы, оснащены двигателем внутреннего сгорания (ДВС) в качестве силовой установки. Работа каждого ДВС осуществляется за счет возвратно-поступательного движения расположенного в цилиндре поршня, находящегося под воздействием давления образованных при сгорании топливной смеси газов. ДВС обладает относительно низким коэффициентом полезного действия – 20%, то есть только 2 литра топлива из 10 литров расходуются на полезную работу. В ДВС принято разделять системы питания, выпуска отработавших газов, зажигания, охлаждения и смазки. К основным деталям ДВС относятся цилиндры, головки блока цилиндров, поршни, поршневые кольца, поршневые пальцы, шатуны, коленчатые валы, маховики, клапаны, распределительные валы с кулачками, свечи зажигания. Современные легковые автомобили в большинстве своём оснащаются четырёхцилиндровыми двигателями. Двигатели горных машин в свою очередь снабжены цилиндрами в количестве от 6 (Mercedes-Benz OM 457LA.V/4 (рис. 1) в KAMAZ-65801-T5 [2]) до 18 (Cummins QSK 78-C в БелАЗ 75600 [3]) из-за необходимости развития достаточно высокого уровня мощности двигателя для выполнения различных транспортных горных работ [1].

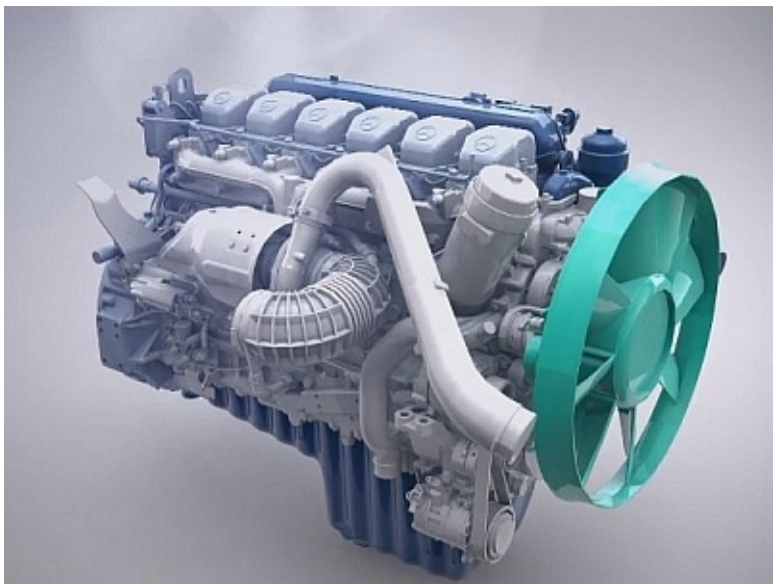


Рисунок 1 – Двигатель Mercedes-Benz OM 457LA.V/4

Одними из ключевых деталей ДВС, которые определяют их рабочий ресурс, являются поршни. Поршень (рис. 2) конструктивно представляет собой полый цилиндр с днищем и бобышками, имеющими отверстие под поршневой палец. В конструкции поршня (рис. 3) условно выделяют следующие элементы: головку (1), состоящую из днища (3), огневого (жарового) пояса (4) и уплотняющего пояса (5); и юбку (2), включающую бобышки (6) и направляющую часть. Условия работы поршней являются наиболее тяжелыми: высокие напряжения от давления газа и тепловые напряжения, переменные нагрузки, высокие скорости возвратно-поступательного движения [2].

Рисунок 2 – Цельнолитой поршень двигателя

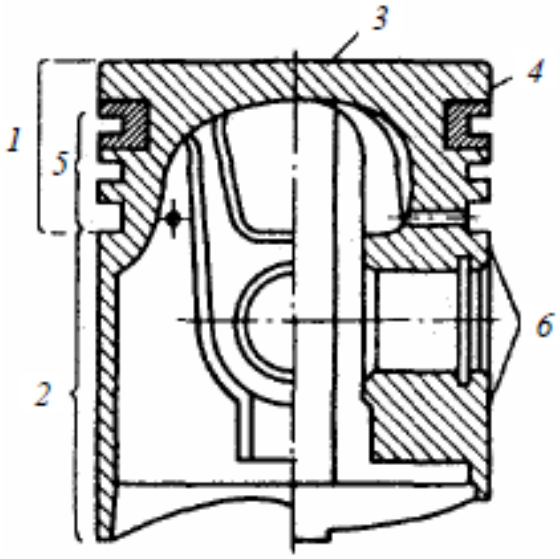


Рисунок 3 – Основные элементы поршня

Данными условиями определяются основные направления модернизации технологического процесса изготовления поршня – повышение точности обработки трущихся поверхностей и обеспечение необходимого уровня их износостойкости.

Повышение качества ответственных деталей ДВС основано на совершенствовании методов получения заготовок, а также внедрении современных

технологических методов обработки [3-12].

При обработке поршней одной из наиболее сложных операций является обеспечение овально-бочкообразного профиля рабочей части [13].

Головку поршня выполняют цилиндрической, а юбка имеет в большинстве случаев овально-бочкообразный профиль для повышения износостойкости и уменьшения времени на притирку. Разность эксцентриситетов овала обычно составляет 0,15…0,35 мм в зависимости от размера поршня (рис. 4).

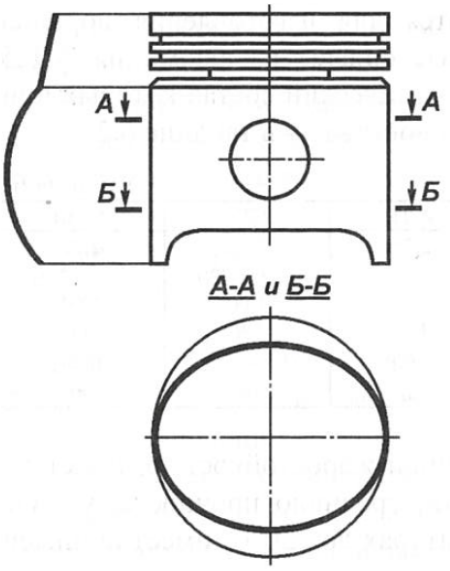


Рисунок 4 – Овально-бочкообразная форма поршня

Бочкообразный профиль выполняется в целях обеспечения условий приработки, стабильности зазора между поршнем и гильзой при их нагреве в процессе работы, тем самым уменьшая износ в сопряжении. Следует отметить, что если выполнение бочкообразного профиля вполне доступно на обычных токарных станках с ЧПУ, обеспечивающих выполнение криволинейного профиля в продольном направлении, то одновременное обеспечение овального профиля в поперечном сечении представляет значительные трудности.

Обработку юбки поршня обычно выполняют копирным, копирно-кинематическим и кинематическим (бескопирным) способами. Каждый из указанных способов имеет ряд достоинств и недостатков. В автомобильной промышленности применяется ряд станков, которые обеспечивают обработку сложных криволинейных поверхностей бескопирным способом [14].

Пример кинематической схемы такого станка приведен на рис. 5.

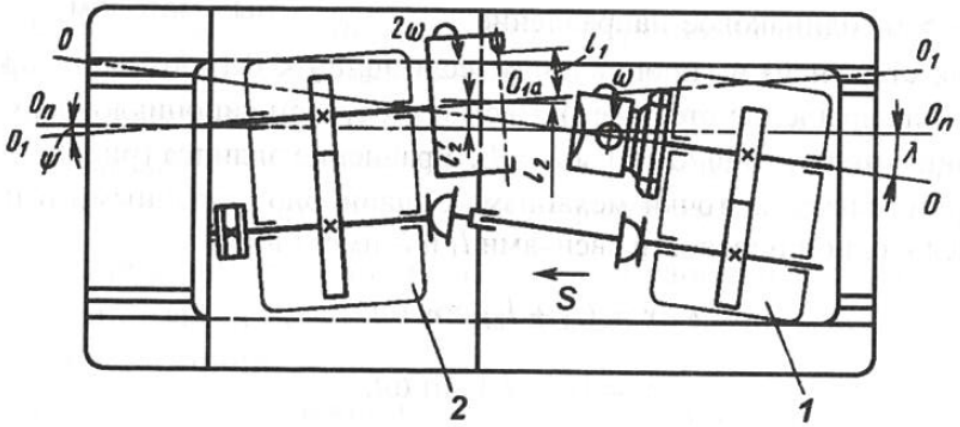


Рисунок 5 – Кинематическая схема станка для обработки поршней

В настоящей работе также проанализирована возможность применения копирного устройства [15] для обработки поршней диаметром 120 мм. Устройство содержит две копирные системы, работающие от одного копира, закрепленного на шпинделе (рис. 6). В процессе чистовой копирной обработки верхняя и нижняя копирные системы отслеживают, а резцы обрабатывают одновременно участки поршня различной овальности.

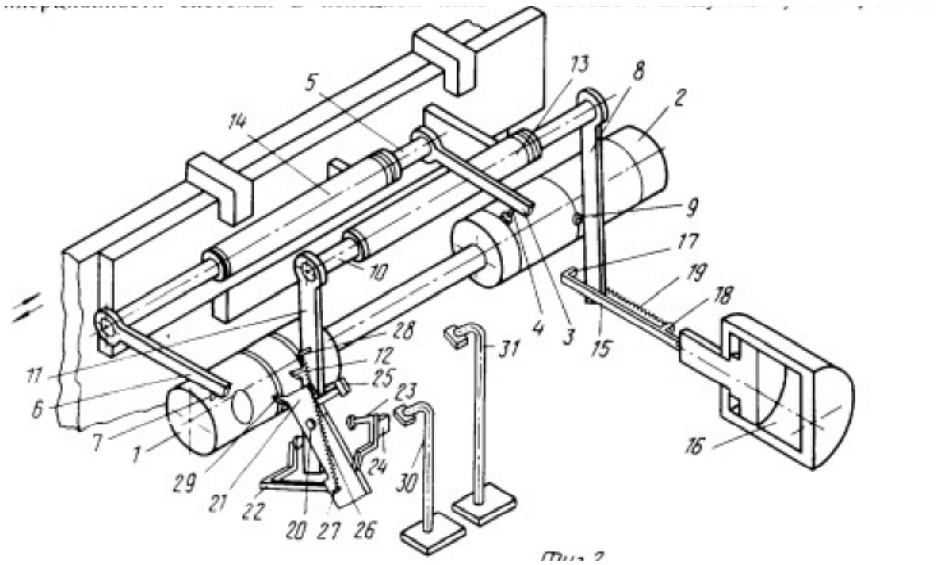


Рисунок 6 – Копирное устройство

Совершенствование технологического процесса изготовления поршней неразрывно связано с совершенствованием операции обеспечения овально-бочкообразного профиля поршня.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Громаковский А.* Устройство автомобиля для сдающих экзамены в ГИБДД и начинающих водителей / А. Громаковский, Г. Бранихин/ – СПб.: Питер, 2010.
2. *Ненишев А.С.* Технология производства деталей двигателей внутреннего сгорания / А.С. Ненишев [и др.]. – Омск: СибАДИ, 2009. – 92 с.
3. *Максаров В.В*. Технологические особенности магнитно-абразивной обработки в условиях цифровых технологий/ В.В.Максаров [и др.] // Металлообработка. - 2019. - № 4 (112). - С. 3-10.
4. *Максаров В.В.* Технологическое обеспечение качества направляющих металлорежущих станков / В.В. Максаров [и др.] // Металлообработка. - 2019. - № 4 (112). - С. 59-67.
5. *Ershov D.Y.* Own fluctuations of technological systems / D.Y. Ershov, E.G. Zlotnikov, B. Nestorovski // Journal of Physics: Conference Series - 2019. - 22055.
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. - 042069.
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. 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.
9. *Красный В.А.* Триботехнические характеристики деталей горных машин с регулярной микрогеометрией поверхности / В.А. Красный, В.В. Максаров // Металлообработка. - 2016. - № 1 (91). - С. 29-35.
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 27. - 2016. - P. 151-156.
11. *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.
12. *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.
13. *Гордиенко Е.К.* Совершенствование технологии механической обработки тонкостенного поршня ДВС / Е.К. Гордиенко, А.В. Белогуб, Н.А. Чемборисов // Металлообработка. - 2013. - №2. - С. 27-36.
14. *Дащенко А.И.* Технология двигателестроения / А.И. Дащенко [и др.]. – М.: МГТУ МАМИ, 2001. – 496 с.
15. *Ращковский Ю.Ш., Сирота Э.М.* Устройство для копирной обточки поршней // Авторское свидетельство № 1155365.

УДК: 614.72

СУЛИЙ Г.О.
Санкт-Петербургский горный университет

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГАЗОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Аннотация: В настоящее время все развитые страны пытаются улучшить экологическую обстановку, для этого разрабатываются новые технологии. К таким технологиям можно отнести новые виды топлива, такие как электрическое и газовое. В данной статье будет рассматриваться газовое топливо.

Ключевые слова: газовое топливо, загрязняющие вещества компримированный природный газ, экологическая обстановка.

SULIY G.O.
Saint-Petersburg Mining University

ENSURING ENVIRONMENTAL SAFETY DURING THE OPERATION OF A GAS ENGINE

Abstract. Currently, all developed countries are trying to improve the environmental situation; new technologies are being developed for this. Such technologies include new fuels such as electric and gas. This article will focus on gas fuel.

Keywords: gas fuel, pollutants, compressed natural gas, environmental conditions.

На данный момент в современном мире идут активные работы по улучшению экологической обстановки. Так как растет уровень автомобилизации, то растет и уровень выбросов отработавших газов от транспортных средств, работающих на дизельном и бензиновом топливе. 90% загрязнения атмосферы приходится на долю транспортных средств [1].

Сегодня автопроизводители пытаются находить новые решения, которые бы снижали уровень выбросов отработавших газов. Так, например, крупные производители автомобилей создают гибридные и электрические машины, которые использую электрические батареи, что обеспечивает снижение выбросов отработавших газов транспортных средств. Российские производители транспортных средств создают автомобили, работающие на газовом топливе, которое обеспечивает снижение выбросов вредных веществ.

Компримированный природный газ (КПГ) реализуется через автомобильные газонаполнительные компрессорные станции (АГНКС), где он осушается, сжимается при помощи компрессора и подается в бак транспортного средства под давлением 200-250 атмосфер. КПГ может использоваться на легком грузовом, пассажирском и легковом транспорте [2].

Из рис. 1 следует, что метан является основной составной частью природных горючих газов. В смеси его содержание превышает 90%. Остальное составляют азот N_2 (до 2%), этан C_2H_6 (до 4%), пропан C_3H_8 (до 2%), бутан C_4H_{10} (до 1%) и при некоторых условиях - пентан C_5H_{12} [3].

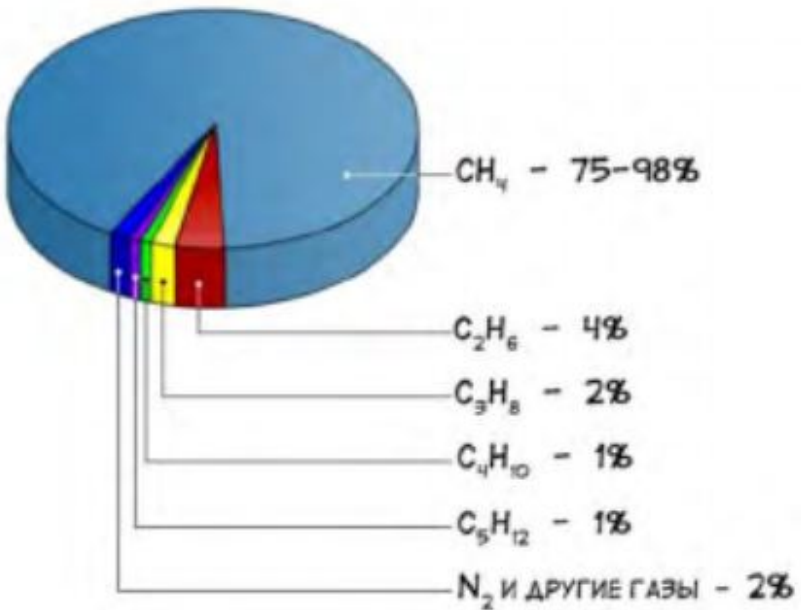


Рисунок 1 - Состав природного газа

Известно, что метан является наиболее безопасным видом топлива. Нижний предел температуры самовоспламенения метана составляет – 650 °С, в то время как у дизельного топлива - 320°С, а бензина - 250°С. Пожароопасные концентрации метана находятся в пределах 4,4-17 % объема, а паров дизельного топлива – 1,1-8 %.

Выбросы СО при использовании газа сокращаются в 10 раз, чем при использовании дизельного топлива.

В табл. 1 приведена сравнительная эмиссия токсичных компонентов в отработавших газах двигателей, использующие различные виды топлива [4].

Таблица 1

Сравнительная эмиссия токсичных компонентов при использовании различных видов топлива (в %)

Виды топлива	CO	C_xH_y	NO	Сажа	Оксид свинца	Бензопирн
Бензин	100	100	100	нет	100	100
Бензин с катализаторами	25-30	10	25	нет	нет	50
Дизельное топливо	10	10	50-80	100	нет	50
Дизельное топливо + газ	8-10	8-10	50-70	20-40	нет	30-40
Пропан	10-20	50-70	30-80	нет	нет	3-10
Природный газ	5-10	1-10	20-50	нет	нет	3-10

Из табл. 1 видно, что при использовании природного газа в качестве моторного топлива в окружающую среду поступает значительно меньше токсичных веществ. Это объясняется тем, что топливо в цилиндрах двигателя сгорает почти полностью, следовательно, продукты сгорания меньше загрязняют окружающую среду.

Обобщенные значения выбросов основных загрязняющих веществ на единицу отработавших газов при сжигании бензина, ДТ и КПГпоказаны в табл. 2.

Таблица 2

Выбросы ЗВ с отработавшими газами автобусов, грузовых и легковых автомобилей

Топливо	Ед. изм.	CO	CH	NO_x	Сажа	SO_x	Pb
Автобусы							
ДТ	Кг/т у.т	221,1	26,4	16,2	0,4	1,4	0,2
КПГ	Кг/тыс $м^3$	85,1	22,1	10,4	-	-	-
Грузовые АТС							
Бензин	Кг/т у.т	354,0	44,4	27,1	0,4	1,3	0,2
КПГ	Кг/тыс $м^3$	134,5	38,4	17,9	-	-	-
Легковые АТС							
Бензин-0 (Евро-0)	Кг/т у.т	167,8	20,8	20,1	-	20,1	-
Бензин-1 (Евро-1) и выше	Кг/т у.т	14,4	1,6	3,9	-	3,9	-
ДТ-0 (Евро-0)	Кг/т у.т	9,4	2,1	27,6	2,8	1,1	-
ДТ-1 (Евро-1) и выше	Кг/т у.т	5,2	1,0	20,7	0,8	1,1	-
Сжиженный нефтяной газ-0 (Евро-0)	Кг/т у.т	159,2	19,7	19,1	-	0,1	-
Сжиженный нефтяной газ-1 (Евро-1) и выше	Кг/т у.т	13,7	1,5	3,7	-	0,1	-

В табл. 3 приведены показатели выбросы парниковых газов при сжигании различного вида топлива.

Таблица 3

Удельные выбросы CO_2 и CH_4 на автомобильном транспорте

Вид топлива	Удельный выброс парниковых газов	
	CO_2	CH_4
Автомобильной бензин	69300	33
Компримированный природный газ	56100	92
Сжиженный природный газ	56100	-
Дизельное топливо	74100	4,15

Из анализа таблиц можно сделать вывод, что использование природного газа будет экологически выгодным для улучшения экологической обстановки в крупных городах.

В заключении можно сделать выводы:

- двигатели, работающие на компримированном природном газе, содержит меньше всего вредных веществ, чем классические виды топлива;

- использование природного газа в качестве топлива экономически выгодно, так как цена в 3 раза меньше, чем на бензин и дизель (цена на 10.02.2020 составляет 16 рублей, а на дизельное топливо 48 рублей).

Для обеспечение экологической безопасности в больших городах, необходимо использовать газовое топливо, чтобы снизить высокий уровень содержания вредных

веществ в атмосфере.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Компримированный природный газ метан: Газомоторное топливо Газпром: http://gazprom-gmt.ru/info/natural-gas.
2. Сжиженный природный газ СПГ Ecogas – производство и стоимость заправки: http://gazprom-gmt.ru/about/products.
3. *Трофимова Г.И.* Метан как альтернативное топливо / Г.И. Трофимова [и др.]. (Электронный ресурс).
https://cyberleninka.ru/article/n/metan-kak-alternativnoe-toplivo.
4. *Веселов В.Н.* Использование природного газа как способ экологизации автомобильного транспорта / В.Н. Веселов, Ю.Ф Веселова, М.Ю. Вишнякова. (Электронный ресурс).
https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-prirodnogo-gaza-kak-sposob-ekologizatsii-avtomobilnogo-transporta/viewer.

УДК 539.538

ТОЛМАТЕЕВ А.Д.,
ТАРАСЕНКО Е.А.,
ШУШКОВ А.С.
Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого

ОЦЕНКА ИЗНОСА ПРОФИЛЯ РЕЗЬБЫ ОБСАДНОЙ ТРУБЫ

Аннотация. Представлены результаты исследований резьбовых соединений труб.

Ключевые слова: резьбовое соединение; нефтехимия; добыча полезных ископаемых.

TOLMATEEV A.D.,
TARASENKO E.A.,
SHUSHKOV A.S.
Peter the Great St. Petersburg
Polytechnic University

EVALUATION OF WEAR OF THE CASING THREAD PROFILE

Abstracts. The results of studies of threaded pipe connections are presented.

Keywords: threaded connection; petrochemistry; mining.

При бурении и освоении скважин для добычи углеводородов важными элементами, которые определяют надежность обсадных и насосно-компрессорных труб (НКТ), а также оборудования для транспортировки нефти и газа являются резьбовые соединения. Эксплуатационные характеристики резьб труб, забойных двигателей и бурового инструмента (долот, калибраторов, переводников и др.), задвижек в значительной степени влияют на технические показатели бурения и экономическую эффективность строительства и эксплуатации скважин. Повышение долговечности и надежности нефтегазового оборудования является актуальной задачей [1].

Целью исследования – оценить износ профиля резьбы обсадной трубы в результате свинчивания при приложении тестовых нагрузок различного характера, а также склонность к образованию задиров рабочих поверхностей при работе в комплексе с рекомендованной для нее смазкой.

Исследования проводились на стенде, разработанном НИОЦ «Резерфорд политехник». Испытательный стенд приспособление для создания крутящего момента до 87 кНм и передачи его на свинчиваемую трубу.

Исследование износа в резьбе обсадной трубы при свинчивании проводится на установке для испытаний, общий вид которой представлен на рис.1 и на рис.2.

Вращающий момент от электродвигателя с помощью плоскоременной передачи передается на входной вал цилиндрического редуктора. Далее вращающий момент с выходного вала редуктора передается двумя расположенными последовательно цепными передачами и с приводной роликовой цепью, к трубе. Трубы с внутренней резьбой (ниппель) и внешней резьбой (втулка – участок трубы с напрессованной на нее муфтой), к которым приварены фланцы, закреплены на стенде болтами. Труба установлена на салазках и при испытаниях совершает поступательное движение в зону свинчивания. Стенд оснащен датчиком момента свинчивания и системой управления, реализующей свинчивание до достижения заданного момента затяжки или

периодическое приложение момента к свинченной резьбовой паре, виброгасителями.

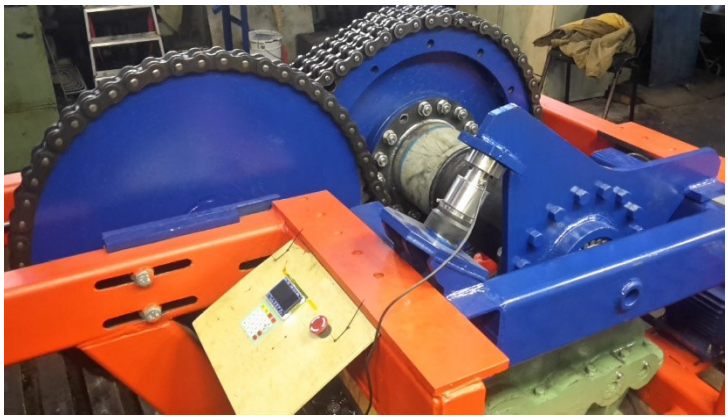


Рисунок 1 - Общий вид стенда в процессе свинчивания трубы

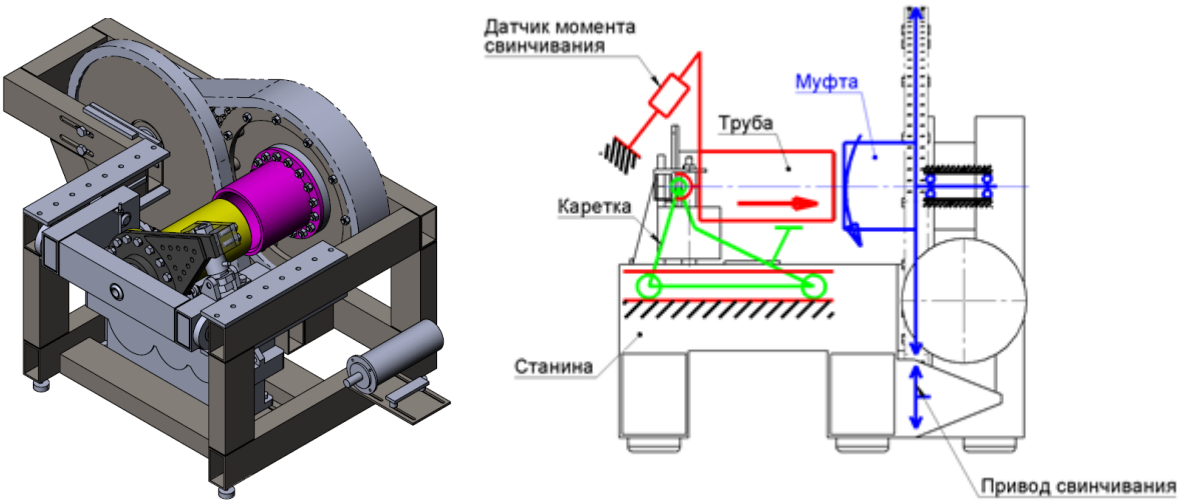


Рисунок 2 - Общий вид стенда

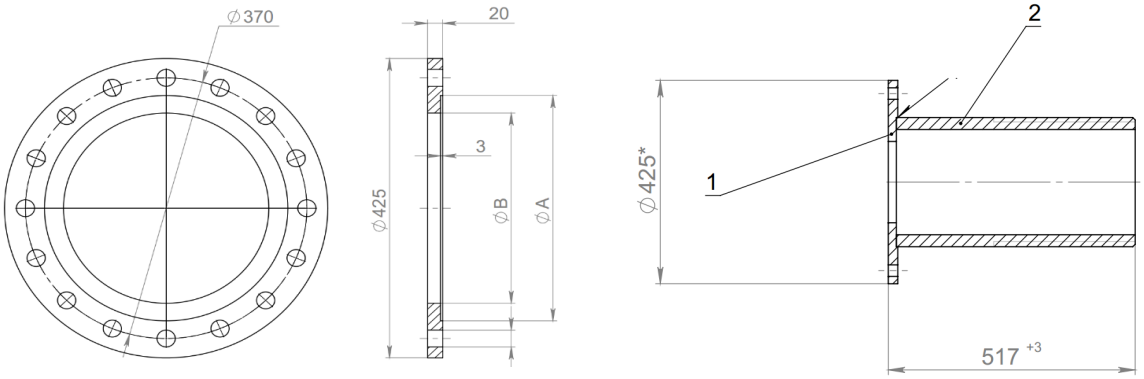


Рисунок 3 – Фланец для установки трубы на испытательный стенд и сборка трубы с фланцем

Исследованию подвергались конечные участки трубы 244,48×11,05 P-110 SS с муфтой. Ниппель (участок трубы с наружной резьбой) и втулка (участок трубы с напрессованной на него муфтой) были отрезаны от трубы и приварены к круглым фланцам для закрепления на стенде (рис. 3) в соответствие с методикой испытаний.

Резьба на ниппеле была обмерена согласно схеме (рис. 4) с помощью калибра

[2]. Калибр был изготовлен на основе трехмерного скана резьбовой поверхности и представляет из себя пластинку с вырезами в форме поперечного сечения четырех ниток резьбы. Зазор между калибром и резьбой измеряется с помощью набора щупов с шагом 0,01 мм.

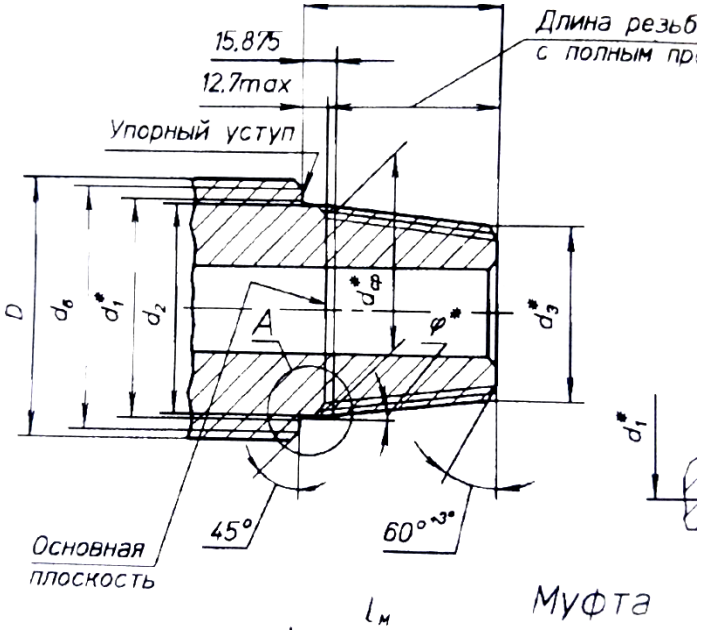


Рисунок 4 - Область замеров резьбы

Предварительно резьбы очищены от смазки сухим. Проведен визуальный осмотр резьбы на наличие дефектов и деформации витков. После обмера на резьбовые части ниппеля и втулки была нанесена смазка (рис. 5).

Рисунок 5 – Резьба с нанесенной смазкой, вид перед началом первого свинчивания

Рисунок 6 – Метки, нанесенные после первого свинчивания

Установленная на стенд труба была в ручную предварительно свинчена на несколько оборотов резьбы на малой скорости. Далее стенд работал в автоматическом режиме.

Свинчивание происходило с равномерной скоростью, без существенных вариаций момента. После свинчивания были нанесены метки на муфте и ниппеле (рис. 6).

Резьбовая пара была развинчена и очищена от смазки для осмотра и измерений. Осмотр не выявил наличия задиров, резьба ровная и смазка легко удаляется с поверхности.

Далее резьбовая пара подготовлена ко второму свинчиванию: нанесена смазка, вручную введена в зацепление и свинчена на несколько витков на малой скорости,

затем в автоматическом режиме.

Свинчивание происходило также с равномерной скоростью без существенных вариаций значения момента. Смещение меток относительно исходного положения после второго свинчивания составило 2 мм (рис. 7).

Резьбовая пара была развинчена и очищена от смазки для осмотра и измерений. Осмотр не выявил задиров, резьба ровная и смазка легко удалялась с поверхности.

После подготовки к третьему свинчиванию резьбовая пара была свинчена до момента 60 кНм и далее была запущена программа, повторяющая приложение момента 60 кНм с периодичностью 1 раз в минуту. Время работы программы составило 5 часов, смещение меток относительно исходного положения при окончании цикла составило 5 мм (рис. 8).

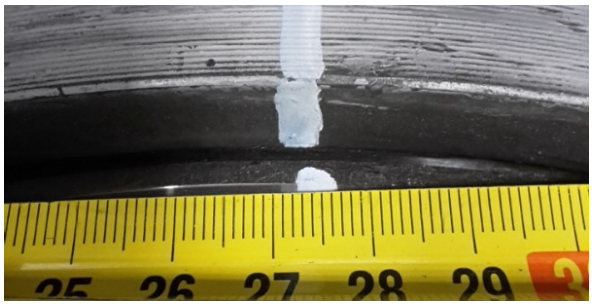


Рисунок 7 – Смещение меток на втором свинчивании

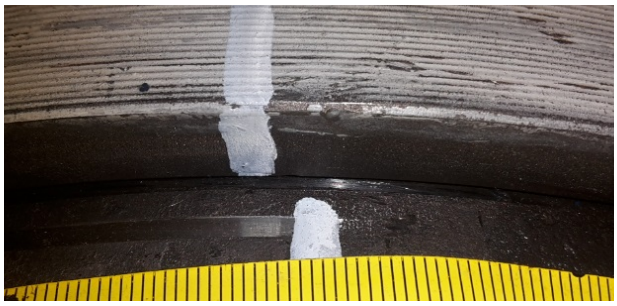


Рисунок 8 – Смещение меток на третьем свинчивании и удержании нагрузки 5 ч

Последний этап заключался в приложении в периодическом приложении момента 60 кНм к свинченной паре в течение 6 часов без развинчивания образцов и замены смазки. Смещение меток относительно исходного положения составило 10 мм (рис. 9).

Рисунок 9 – Смещение меток после 11 часов испытаний при периодическом приложении момента

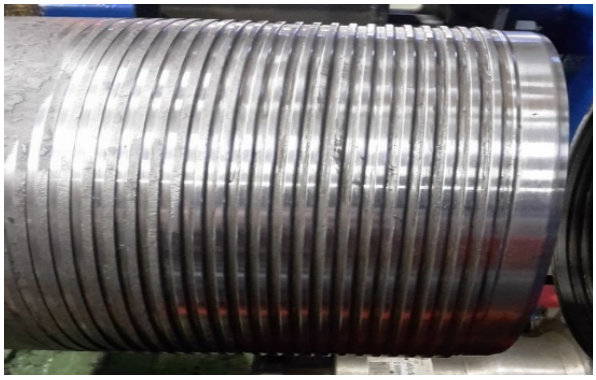


Рисунок 10 – Внешний вид резьбы после испытаний. Смазка удалена

Резьбовая пара была развинчена и очищена от смазки для осмотра и измерений (рис. 10). Осмотр не выявил задиров, резьба ровная и смазка легко удалялась с поверхности.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных испытаний трубы 244,48×11,05 P-110 SS, обнаружилась малая склонность к образованию задиров на резьбе после полного цикла испытаний. Износ резьбы составил 0,045, что значительно ниже допускаемой

величины. Величина максимально допустимого износа 0,69 при эксплуатации согласно API 7G-2) [3].

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буровые комплексы. Современные технологии и оборудование / Коллектив авторов под общей редакцией Гусмана А.М. и Порожского К.П. Научное издание. – Екатеринбург: УГГА, 2002. - 592 с.
2. *Лачинян Л.А.* Конструирование, расчет и эксплуатация бурильных геологоразведочных труб и их соединений. - М.: Недра, 1975. - 232 с.
3. *Семин В.И.* Современные методы проектирования резьбовых соединений труб нефтегазового сортамента для строительства скважин: дисс. … д-ра техн. наук. – М., 2005.

УДК 622.23

ТУШИН Д.А.,
ЛИТВИНОВ К.В.
Санкт-Петербургский горный университет

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ УГЛЕЙ И ГОРНЫХ ПОРОД РЕЗЦАМИ ГОРНЫХ МАШИН

Аннотация. В статье рассматривается анализ исследований процесса резания углей и горных пород механическим способом. Основное направление исследований — это формирование оптимального процесса отделения угля от массива опережающими сколами.

Ключевые слова: уголь; резец; усилие; резание; элементарный скол; горная машина.

TUSHIN D.A.,
LITVINOV K.V.
Saint-Petersburg Mining University

ANALYSIS OF THE PROCESS OF DESTRUCTION OF COAL AND ROCKS CHISELS OF MINING MACHINES

Abstract. The article deals with the analysis of studies of the process of cutting coal and rocks by mechanical means. The main direction of research is the formation of an optimal process of separation of coal from the array by leading chips.

Keywords: coal; cutter; force; cutting; elementary chipping; mining machine.

Технологии добычи сырьевых ресурсов и освоения подземного пространства основаны на механическом разрушении горных пород режуще-скалывающим инструментом. Однако определение параметров разрушения этим инструментом до сих пор производят с помощью эмпирических выражений, поскольку нет новой скорректированной под современные условия теории резания и разрушения горных пород. Основы теории резания базируются на описании внедрения резца в массив с учетом законов его взаимодействия с породой и соотношений аналитической теории прочности [1, 2].

Кратко рассмотрим процесс внедрения инструмента в горную породу как в полупространство, обнаженного одной поверхностью, при ударных нагрузках по фазам [3]:

1. Фаза поверхностного смятия: при контакте инструмента с породой сминаются выступы и шероховатости на поверхности;
2. Фаза образования трещин разрыва: под острием растут радиальные трещины, опережая глубину выкола и образуя зоны предразрушения;
3. Фаза краевого объемного раздавливания, когда под острием и вокруг него возникает объемное разрыхление и смятие породных кристаллов в виде слоя раздробленной породы вплоть до отдельных кристаллических фрагментов;
4. Фаза скола (или выкола) крупного фрагмента породы, когда сдвигающие усилия от внедрения инструмента превосходят сдвиговую прочность породы у поверхности выкола.

Далее в процессе разрушения все фазы процесса повторяются в той же последовательности. Наиболее важным является фаза выкола породы, при котором

выполняется главная работа разрушения породы.

Исследование процесса формирования элементарных сколов направлено на выявление факторов, наиболее существенно влияющих на значение параметров, форму силовой и энергетической характеристик и на выявление закономерностей формирования самих фаз элементарного скола в процессе резания углей одиночным резцом. Как показывают исследования [4-12] к факторам, оказывающим наиболее существенное влияние следует отнести: толщину и ширину среза; скорость резания (средняя и мгновенная); структуру и прочностные свойства массива; геометрические параметры резца; запас энергии в приводе резца; направление среза к структурным особенностям строения массива; время ожидания скола.

Силовая характеристика последовательных элементарных сколов − это изменение силы резания с изменением толщины среза (h), скорости резания (Vp) в течение времени формирования цикла элементарного скола Тц [2]. Графически она может быть представлена изменением сил сопротивления во времени (рис. 1), отражающей последовательные фазы [3]: зачистки − 1ф, дробления-измельчения − 2ф, формирования ядра уплотнения − 3ф и скола − 4ф.

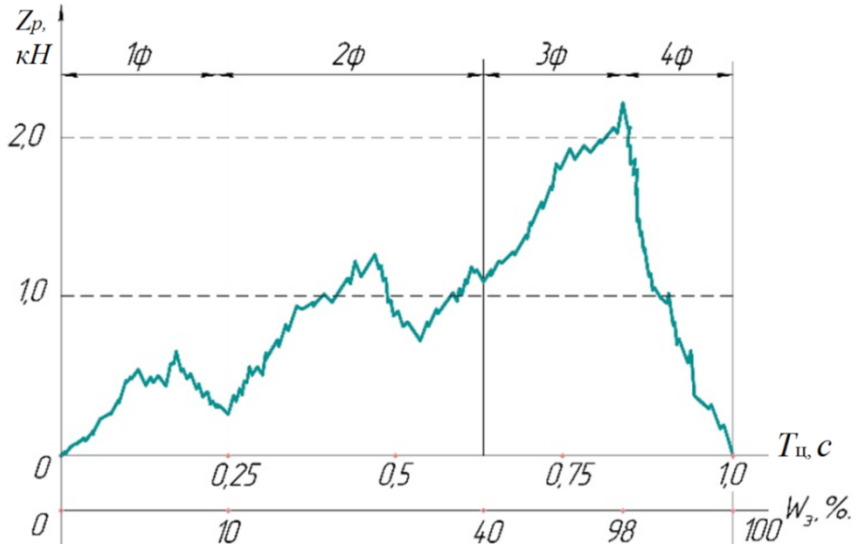


Рисунок 1 - Идеализированная характеристика элементарного скола

Энергетическая характеристика процесса последовательных элементарных сколов − это затраты энергии по фазам элементарного скола за время цикла (Тц) (рис. 1).

Физическая сущность процесса формирования последовательных фаз элементарных сколов объясняется тем, что после достижения максимального усилия $Z_{p.max}$ на резце (в конце фазы 3) и возникновения магистральной трещины скорость роста последней в фазе 4 значительно превышает скорость движения резца. Образуется опережающая поверхность скола, направленная, в общем случае, под углом к плоскости резания и к открытой поверхности. При дальнейшем перемещении резец режущей кромкой зачищает поверхность скола (первая фаза) до плоскости резания. При этом энергия расходуется на трение и измельчение угля преимущественно истиранием, так как в этой фазе элементарного скола толщина среза (h) мала и соизмерима с радиусом (r) скругления режущей кромки резца ($h \leq 2r$) [3]. При дальнейшем движении резца с углублением режущей кромки (фаза 2) скалываемые кусочки угля накапливаются на передней его поверхности и дробятся. Формируются ядро уплотнения (фаза 3) и общая область напряжений в подрезцовой зоне массива, которые сопровождаются импульсивным ростом напряжений в околорезцовой зоне массива.

Формирование такой структуры последовательных элементарных сколов характерно для процесса резания хрупких пород с постоянной скоростью (комбайны, струговые установки, агрегаты), которая значительно меньше скорости распространения магистральной трещины при критических напряжениях в массиве. При изменении параметров режима резания (толщины среза, вектора скорости движения резца к направлению слоистости или преобладающей трещиноватости массива) параметры последовательных элементарных сколов и структура силовой и энергетической характеристик существенно изменяются.

Каждому сколу предшествуют образование локальной зоны напряжений в подрезцовой зоне массива, возникновение и распространение магистральной трещины.

При резании угля или породы одиночным резцом всегда можно выбрать направление движение резца к направлению устойчивой их трещиноватости, слоистости или слойчатости, что обеспечит распространение магистральной трещины по направлению, соответствующему наименьшему сопротивлению [13]. В этом случае относительные затраты энергии на зачистку (фаза 1), дробление и измельчение (фаза 2) могут существенно уменьшиться. Уменьшится и суммарная энергия реализации единичного элементарного скола.

Известно, что прочность угля в массиве, из-за наличия в нем слоистостей и трещиноватостей, меньше чем куске. Следовательно, в процессе резания должны формироваться опережающие резец сколы углей с реализацией этих ослаблений. Теория резания не отражает влияния этих особенностей на процесс формирования и масштаб опережающих сколов как при резании углей одиночным резцом, так и исполнительным органом в целом.

На процесс формирования опережающих сколов в процессе взаимодействия исполнительного органа с массивом влияют интенсивность и зона распространения опережающих напряжений в призабойной части массива, скорость подачи и скорость резания [14], ширина захвата и степень ослабления пласта отжимом, мощность пласта и др. В комплексно-механизированном очистном забое с высокой интенсивностью добычи увеличивается выход негабаритов, работа без дробилок становиться не устойчивой. Роль резцов с режущими кромками стала менее значимой. Резцы, армированные кернами, оказались более эффективными и получили массовое использование [15].

На основе изложенного можно сделать следующие выводы:

1. Процесс отделения хрупких углей от массива резцами выемочных машин происходит преимущественно опережающими сколами с реализацией ослаблений в массиве слоистостью и трещиноватостями;

2. Современные резцы выемочных машин, армированные кернами, не имеют режущих кромок и отделяют уголь от массива опережающими сколами;

3. Существующие методики выбора параметров резцов и исполнительных органов выемочных машин не направлены на формирование оптимального процесса отделения угля от массива опережающими сколами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Позин Е.З.* Исследование процесса разрушения углей механическим способом в ИГД им. А.А. Скочинского // Уголь. - 1992. - № 12. - С. 60-62.
2. *Позин Е.З.* Разрушение углей выемочными машинами / Е.З.Позин, В.З. Меламед, В.В.Тон. - М.: Недра, 1984. - 288 с.
3. *Габов В.В.* Особенности формирования элементарных сколов в процессе резания углей и изотропных материалов эталонным резцом горных машин / В.В.Габов, Д.А.Задков, Нгуен Кхак Линь // Записки Горного института. - 2019. Т. 236. - С. 153-161.
4. *Габов В.В.* Зависимость максимальных сил резания хрупких трещиноватых углей от

времени действия нагрузки / В.В. Габов [и др.] // Горное оборудование и электромеханика. - 2006. - № 7. - С. 37-39.
5. *Габов В.В.* Исследование резания углей одиночным резцом как последовательности элементарных сколов / В.В. Габов [и др.] // Горное оборудование и электромеханика.- 2007. - № 6. - С. 41-43.
6. *Gabov V.V.* Peculiarities of stress field formation during cutting isotropic material by mining machine cutters / V.V.Gabov, D.A.Zadkov // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. - 2017. - Vol. 87. - P. – 022007.
7. *Zadkov D.* Mining machinery: enhancing cutting efficiency / D. Zadkov, V. Bolshakov // Russian mining. - 2005. - № 1. - P. 19-21.
8. *Maksarov V.V.* Preface / V.V. Maksarov et al. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciencею - 2018. - 012001.
9. *Gabov V.V.* Mathematical model of simple spalling formation during coal cutting with extracting machine / V.V. Gabov, D.A. Zadkov // Journal of Physics: Conference Series. - 2018. - 9 DUMMY.
10. *Габов В.В.* Математическая модель механизма резания выемочного модуля с объемным гидроприводом / В.В. Габов, О.В. Кабанов, Д.А. Задков // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2004. - № 9. - С. 319-322.
11. *Габов В.В.* Экспериментальные исследования процесса разрушения углей выемочными модулями с объемным гидроприводом / В.В. Габов, Д.А. Задков, В.Е. Большаков // Народное хозяйство Республики Коми. - 2005. - Т. 14. № 1-2. - С. 344.
12. *Gabov V.V.* Energy-saving modular units for selective coal cutting / V.V. Gabov, D.A. Zadkov // Eurasian mining. - 2016. - № 1(6). - P. 37-40.
13. *Задков Д.А.* Способ отделения угля от массива при отработке трещиновато-слоистых угольных пластов / Д.А. Задков [и др.] // Горное оборудование и электромеханика.- 2012. - № 2. - С. 30-33.
14. *Габов В.В.* Схема расстановки резцов на шнековых исполнительных органах с подрезными, парными и групповыми срезами / В.В. Габов [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2020. - №S4. -С. 3-14.
15. *Белич Е.В.* Испытание нового горно-режущего инструмента в шахтах Воркуты / Е.В. Белич [и др.] // Горное оборудование и электромеханика. - 2007. - № 8. - С. 1-5.

УДК 681.518.5

УШКОВА Т.О.
Санкт-Петербургский горный университет

РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ПРОЦЕССОМ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ НЕФТИ С ЦЕЛЬЮ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ПАРАФИНИЗАЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ

Аннотация. Целью проведения научных исследований является разработка информационной системы предупреждения парафинизации трубопроводов. Для достижения поставленной цели были использованы методы исследований: проработка литературы, обобщение теории и практики, сравнительный анализ, генерация новых технических решений; оценка безопасности, технико-экономическое обоснование, математическое моделирование. Автором работы была определена минимальная датчиковая обвязка сбора данных разрабатываемой информационной системы, для чего была создана инновационная система измерения вязкости и выявления парафиновых отложений на стадии формирования. Были разработаны протоколы корректировки накопленной информации и её применения для актуальных вопросов. Практическое использование результатов научного проекта значительно увеличит энергоэффективность и надёжность транспортировки нефти, станет средством выбора экономически выгодных методов по борьбе с парафинизацией на строящихся и модернизируемых нефтепроводах.

Ключевые слова. Нефть, трубопровод, информационная система, парафиновые отложения, радиоизотопная измерительная система.

USHKOVA T.O.
St. Petersburg Mining University

DEVELOPMENT OF MANAGEMENT SYSTEM FOR PREVENTING PARAFFIN DEPOSITS IN PIPELINES

Abstract. The scientific research has been made in order to develop information system for preventing paraffin deposits in pipelines. To achieve this goal, following research methods were used: literature research, generalization of theory and practice, comparative analysis, generation of new technical solutions; safety assessment, feasibility study, mathematical modeling. The author identified minimal necessary for data collection sensors composition, in which an innovative system for measuring viscosity and paraffin deposits was created. The protocols for adjusting the information and its application for current issues were developed. The practical use of the results will significantly increase the efficiency and reliability of oil transportation, and will make possible choosing the cost-effective approach to prevent paraffin formation.

Key words. Oil, pipeline, information system, paraffin deposits, radioisotope measuring unit.

Трубопроводный транспорт занимает лидирующую позицию среди остальных видов транспорта нефти, что обусловлено многими его преимуществами [1]. Однако его энергоэффективность уменьшается с тенденцией повышения вязкости добываемой нефти. А с увеличением доли нефтепроводов, пролегающих в суровых условиях с низкими температурами, растёт риск возникновения парафиновых отложений. Вот почему современное оборудование, контактирующее с нефтью, оснащается системами понижения вязкости и предотвращения образования парафиновых отложений.

В настоящий момент не существует средств выявления парафинообразования на

ранней стадии и как следствие системы по борьбе с парафиновыми отложениями работают либо с большими коэффициентами запаса, делающими их неоправданно энергоёмкими, либо с большим риском образования парафинового слоя, который снижает эффективность работы оборудования и часто приводит к аварийным разливам нефти. Не смотря на широкое разнообразие методов по борьбе с парафиновыми образованиями, не существует средств выбора оптимального с точки зрения надёжности и экономичности метода борьбы для конкретных климатических условий и определённых сортов нефти в строящихся и модернизируемых нефтепроводах.

Для решения описанных проблем были проведены научные исследования с применением методов: проработка литературы по свойствам нефтяного потока и особенностям транспортировки высоковязких сортов нефти; изучение процесса парафинообразования, обобщение и анализ теории и практики применения радиоизотопного метода измерений; разработка методик выявления парафиновых отложений и измерения вязкости; анализ радиоизотопного метода с точки зрения безопасности для обслуживающего персонала; разработка информационной системы хранения и корректировки данных и выбор способа сбора информации; технико-экономическое обоснование, математическое моделирование.

На данном этапе исследований автором была выявлена минимальная датчиковая обвязка нефтепровода, необходимая для сбора данных разрабатываемой информационной системы. Ввиду высокой сложности процесса парафинообразования, его зависимости от множества сложно измеряемых параметров нефти и как следствия отсутствия на сегодняшний день формульных зависимостей позволяющих спрогнозировать парафинообразование, автором была разработана необходимая для сбора данных измерительная система выявляющая парафинообразование на ранних стадиях и измеряющая вязкость [2,3]. Были разработаны протоколы для хранения и корректировки информационной системы граничных условий парафинизации, обеспечивающие минимизацию необходимых пространства в памяти системы и нагрузки на процессор.

Автором научного проекта предлагается создание информационной системы, хранящей и корректирующей граничные условия парафинообразования. Применение данной информационной системы для выработки управляющих нефтепроводом воздействий, с целью не только борьбы но и предупреждения парафинообразования и достижения максимального экономического эффекта. А также создание программы, которая по заданным параметрам строящегося и модернизируемого нефтепровода (характеристикам нефти, климатическим и географическим условиям) сможет выводить оптимальные с точки зрения надёжности и экономичности системы для борьбы с парафинообразованием и рассчитывать её параметры.

Разрабатываемые информационная и измерительная системы не имеет аналогов, ввиду невозможности сбора необходимых данных существующими измерительными системами. Применение разработанной технологии сделает транспортировку высоковязких нефтей более рентабельным и энергоэффективным, а также снизит риск образования аварийных разливов.

Работа выполнена под руководством доцента кафедры электроэнергетики и электромеханики Коптевой А.В.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Юфин В. А.* Трубопроводный транспорт нефти и газа. - М.: Недра, 1976, 408 с.
2. *Ушкова Т.О.* Разработка информационно-измерительной и управляющей системы процессом транспортирования нефти с целью предупреждения парафиновых отложений в трубопроводах. Сборник трудов 73-й Международной молодежной

научной конференции «Нефть и газ – 2019». – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2019. С. 340-349.
3. *Kopteva A. V.* Development of a system for automated control of oil transportation in the Arctic region to prevent the formation of paraffin deposits in pipelines /Kopteva A.V., Koptev V.U., Malarev V.I., Ushkova T.O.// E3S Web of Conferences. 140. 07004. 10.1051/e3sconf/201914007004
4. *Коптева А.В.* Информационное обеспечение процесса транспортирования многофазных потоков на основе внедрения радиоизотопной бессепарационной системы учета углеводородов / Коптева А.В., Коптев В.Ю., Поддубный Д.А. // Динамика систем, механизмов и машин. 2019. Т. 7. № 2. С. 220-226.
5. *Старшая В.В.* Многопараметрический метод обнаружения несанкционированных врезок в нефтепровод, основанный на радиоизотопном излучении / Старшая В.В., Коптева А.В. // В сборнике: Неделя науки СПбПУ Материалы научной конференции с международным участием. Лучшие доклады. 2018. С. 104-108.
6. *Коптева А.В.* Программа для задания параметров имитационной модели системы управления электроприводом насосной установки трубопроводного транспорта вязкой нефти / Коптева А.В., Поддубный Д.А., Коптев В.Ю.// Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2020610581, 16.01.2020. Заявка № 2019667533 от 25.12.2019.
7. *Koptev V.Y.* INCREASE IN ENERGY EFFICIENCY OF OIL AND GAS COMPANIES BY PERFECTING OF MANAGEMENT SYSTEMS / Koptev V.Y., Kopteva A.V., Poddubniy D.A.// Proceedings of the 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2019 2019. С. 548-552.
8. *Kopteva A.V.* AUTOMATIC MEASURING SYSTEM FOR OIL STREAM PARAFFIN DEPOSITS PARAMETERS / Kopteva A.V., Koptev V.Y.// IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Processing Equipment, Mechanical Engineering Processes and Metals Treatment. 2018. С. 042053.
9. *Ушкова Т.О.* Внедрение информационных технологий с целью предупреждения возникновения парафиновых отложений в магистральных трубопроводах / Ушкова Т.О., Коптева А.В., Коптев В.Ю. // Неделя науки СПбПУ материалы научной конференции с международным участием. 2018. С. 376-379.
10. *Коптева А.В.* Бесконтактная система измерения толщины парафинистых отложений нефти в погружном оборудовании и нефтепроводах / Коптева А.В., Коптев В.Ю.// Экспозиция Нефть Газ. 2018. № 3 (63). С. 62-64.
11. *Семенюк А.В.* Разработка бесконтактного способа измерения толщины парафиновых отложений в трубопроводе / Семенюк А.В., Коптева А.В.// В сборнике: Нефть и газ - 2017 Сборник трудов 71-ой Международной молодежной научной конференции. 2017. С. 336-342.
12. *Старшая В.В.* Снижение риска возникновения аварий на нефтепроводах с помощью радиоизотопной системы измерения параметров нефтяных потоков / Старшая В.В., Коптева А.В.// В сборнике: Нефть и газ - 2017 Сборник трудов 71-ой Международной молодежной научной конференции. 2017. С. 355-362.

УДК 621

ФЕВРАЛЕВА В.С.
Санкт-Петербургский горный университет

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ НИКЕЛЯ НА ДЛИТЕЛЬНОСТЬ АУСТЕНИТНО-ПЕРЛИТНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ В СТАЛЯХ CR-NI-MO-V КОМПОЗИЦИИ

Аннотация. Влияние содержания никеля на длительность аустенитно-перлитного превращения основана на определении: кинетики распада аустенита сталей с различным содержанием никеля на основе термокинетических диаграмм; анализа микроструктуры и оценки видов излома образцов; выбора сокращенных режимов аустенитно-перлитных превращений; назначении оптимальных режимов термической обработки. Микроанализ позволяет во многих случаях объяснить причины изменения свойств сплавов в зависимости от изменения химического состава и условий обработки.

Ключевые слова: микроструктура; аустенитное превращение; разрушения металла; концентрация углерода, бейнитное превращение; игольчатый рельеф; структура стали; нагрев под закалку.

FEVRALEVA V.S.
Saint-Petersburg Mining University

EFFECT OF NICKEL CONTENT ON DURATION OF AUSTENITE-PEARLITE CONVERSION IN STEEL Cr-Ni-Mo-V COMPOSITIONS

Abstract. The effect of nickel content on the duration of austenite-pearlite conversion is based on the definition of: the kinetics of the decay of austenite steels with different nickel content based on thermokinetic diagrams; Analysis of microstructure and evaluation of sample fracture types; Selection of reduced austenite-pearlite transformation modes; Assignment of optimum thermal treatment modes. Microanalysis makes it possible in many cases to explain the reasons for the change in alloy properties depending on the change in chemical composition and processing conditions.

Keywords: microstructure; austenitic transformation; metal destructions; carbon concentration, bainitic conversion; needle relief; structure of steel; heating under training.

Основным конструкционным материалом для изготовления крупных изделий ответственного назначения являются стали Cr-Ni-Mo-V - композиции, обладающие уникальным сочетанием сквозной прокаливаемостью, равномерно высокими механическими свойствами по всему сечению деталей, высокой прочностью при высокой пластичности и вязкости [2]. Области применения изделий из сталей данной композиции разнообразны и обширны: атомная энергетика, турбостроение, автопромышленность, авиация.

В ходе данной работы были исследованы три плавки с различным содержанием никеля. Режимы окончательной термической обработки (закалки и отпуска) для трех сталей с различным содержанием никеля приведены в табл. 1.

Термическая обработка образцов металла проводилась в электрической камерной печи Naberthern модель № 321/13, 2010 года выпуска.

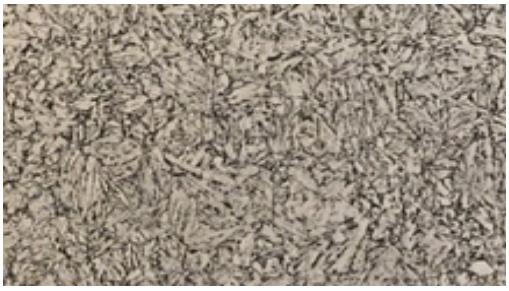
Таблица 1

Режимы термической обработки

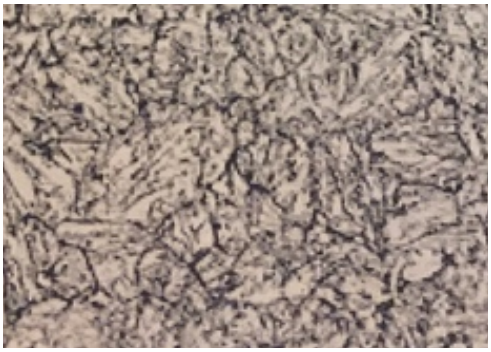
Марка стали	Операция	Температура	Время выдержки	Среда охлаждения
№1	Закалка	900^0C	1 час	Масло (вода)
	Отпуск	650^0C	5 часов	Воздух
№2	Закалка	870^0C	1 час	Масло (вода)
	Отпуск	660^0C	5 часов	Воздух
№3	Закалка	860^0C	1 час	Масло (вода)
	Отпуск	670^0C	5 часов	Воздух

В результате проведенной термообработки, была получена равномерно мелкодисперсная структура, участков полосчатости не наблюдается. При высоком увеличении (×1000) различима карбидная сетка, возможно, тригональный - крупные округлые частицы по границам зёрен - карбид хрома Cr_7Cr_3 [7]. Микроструктура образцов представлена на рис. 1.

×100



×500



×1000

Рисунок 1 - Микроструктура образца №6 первого состава стали. С содержанием Ni 1,57% после полной термической обработки. Структура – бейнит, 6-7 балл зерна

На рис. 2 представлен излом ударного образца стали с содержанием никеля (срез поперек проката). Тип разрушения металла образца - вязкий ямочный. Микромеханизм

данного типа разрушения вязкий транскристаллитный – разрушение реализуется путем зарождения, роста и объединения микропор. Характер разрушения определяется соотношением значений сопротивления сдвигу и сопротивления отрыву (микросколу), температура пересечения этих зависимостей является критической температурой хрупкости, соответствующей смене механизма разрушения с вязкого на хрупкий [5].

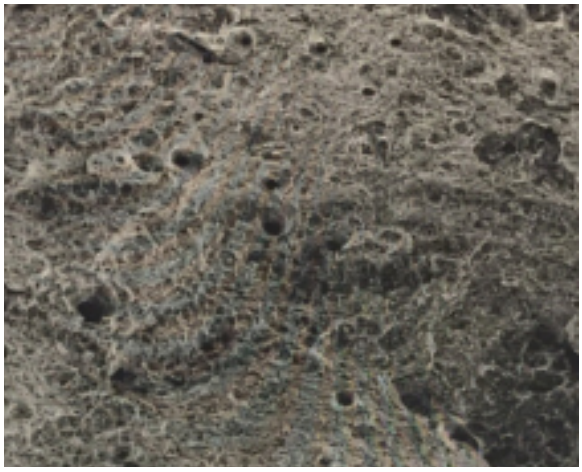


Рисунок 2 - Излом ударного образца стали с содержанием Ni 1,57% при температуре +20 °С

Высокое содержание в составе никеля в сочетании с другими легирующими элементами и небольшим количеством углерода, определяет холодостойкость стали [2].

Немаловажным фактором является получение равномерной мелкодисперсной структуры, что повышает порог хладноломкости.

При охлаждении аустенит претерпевает промежуточное (бейнитное) превращение, которое развивается в интервале температур между областями перлитного и мартенситного превращений [1]. Основные черты кинетики превращения заключаются в следующем:

- в изотермических условиях превращение начинается после некоторого инкубационного периода;
- превращение при постоянной температуре идёт лишь до определенного предела и прекращается при сохранении некоторой доли не превращенного аустенита;
- в сталях Cr-Ni-Mo-V четко выделена область промежуточного превращения и можно установить её верхнюю температурную границу.

При определение кинетики распада аустенита промежуточное превращение аустенита сопровождается образованием игольчатого рельефа, подобного мартенситному. Исследования рельефа указывают на медленный рост кристаллов α-фазы при промежуточном превращении [3]. Малая скорость роста кристалла α-фазы бейнита позволяет предполагать, что она определяется диффузионным отводом углерода от растущего кристалла в окружающий аустенит.

Неотъемлемым элементом промежуточного превращения аустенита - диффузионное перераспределение углерода. Малая скорость роста кристаллов α-фазы и диффузионное перераспределение углерода в ходе превращения позволяют предполагать, что скорость роста определяется скоростью отвода углерода от растущего кристалла на его фронте, как процесса, приводящего к релаксации внутренних напряжений [6]. Понижение концентрации углерода перед фронтом растущего кристалла α-фазы и релаксация напряжений обеспечивают возможность мартенситного γ→α перехода при превращении аустенита в промежуточной области [1].

Увеличение концентрации никеля повышает устойчивость аустенита и смещает верхнюю границу превращения к более низким температурам. Повышается склонность γ-фазы к переохлаждению и увеличивается её устойчивость; снижается верхняя граница превращения и все линии диаграммы смещаются вправо [2].

Структура стали, в общем виде, в результате промежуточного превращения может состоять из мартенситной α-фазы, остаточного аустенита, карбидных частиц, возникших в результате как непосредственного выделения из аустенита, так и распада α-фазы.

Основные факторы, определяющие прочность бейнита - величина кристаллов α-фазы, дислокационная субструктура, содержание углерода в α-фазе, форма и распределение карбидных частиц. С понижением температуры превращения размер кристаллов α-фазы уменьшается, плотность дислокаций возрастает, содержание углерода в α-фазе повышается, карбидные частицы распределяются преимущественно внутри кристаллов α-фазы [1]. Всё это обусловливает рост предела текучести; однако, раздельная оценка вклада этих факторов затруднительна, тем более, что неполнота промежуточного превращения приводит к сохранению некоторой доли не превращённого аустенита, обогащенного углеродом, который при охлаждении частично превращается в мартенсит. В сопротивление деформации нижнего бейнита существенен вклад со стороны карбидных частиц, выделяющихся внутри кристаллов α-фазы. Изотермическая закалка с образованием структуры нижнего бейнита во многих случаях приводит к повышению прочности [5].

Увеличение содержания никеля в составе стали способствует увеличению длительности инкубационного периода до начала аустенитно-перлитного превращения. Время до начала реализации перлитного превращения стали состава №1 с 1,57% Ni составляет 1 час, стали состава №2 с 2,80% Ni – 2,1 часа, стали состава №3 с 3,68% Ni – 27,8 часа.

Данное положение подтверждается анализом полученных микроструктур. Стали трёх составов, подвергнутые термической обработке по этому режиму, прошли перлитное превращение. В микроструктуре образцов зафиксирована перлитно-ферритная структура зерном 7-8 балла. При изотермической выдержке до 12 часов (сталь с содержанием никеля 1,57%) и до 30 часов (стали с содержанием никеля 2,80% и 3,68% соответственно) количество феррита в микроструктуре значительно- 50-70% [7].

С увеличением длительности выдержки фиксируется увеличение количества перлитной фазы, что объясняется следующим: имеющиеся уже центры кристаллизации новой фазы в виде нерастворенных карбидов и альфа фазы значительно ускоряют прохождение аустенитно-перлитного превращения.

Последующий нагрев под закалку перлитной структуры гарантирует получение мелкого аустенитного зерна, что очень важно для сталей, склонных проявлению структурной наследственности, и понижение переходной температуры хрупкости [4]. Проведение окончательной термической обработки (закалка + отпуск) позволяет получить равномерную мелкодисперсную бейнитную структуру, обладающую высокими показателями прочности и вязкости. Проведение испытаний на ударную вязкость фиксирует вязкий ямочный тип разрушения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сергеев Ю.Г.* Экстремальные значения твердости и микротвердости фаз после изотермического превращения аустенита при 630–650°С сталей 45 и У8 / Ю.Г. Сергеев [и др.] // Проблемы ресурса и безопасной эксплуатации материалов. Материалы XIV Международной научно-технической конференции. - СПб.: СПбГУНиПТ, 2008. - С. 105–107.

2. *Борисова Л.Г.* Оценка износостойкости углеродистых и низколегированных сталей упрочненных цианированием // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2017. Материалы Международной научно-технической конференции. - СПб.: Изд-во ФГБОУ ВО СПГУ, 2017. - С.310-313.
3. *Борисова Л.Г.* Растровая электронная микроскопия в ходе исследования сложных рельефов поверхности / Л.Г. Борисова, В.О. Никитина // Инновации на транспорте и в машиностроении. Материалы IV Международной научно-практической конференции. - СПб.: НМСУ «Горный», 2016. – Т. II. - С.61-62.
4. *Borisova L.G.* Methods of improvement of exploitation features of carbon and low-alloyed steels // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2017. - 87.
5. *Борисова Л.Г.* Комплексный метод исследования деформации и разрушения материалов // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2018. Материалы Международной научно-практической конференции. - СПб.: Изд-во ФГБОУ ВО СПГУ, 2018. - С.47.
6. *Шахназаров К. Ю.* Аномалии пластичности железа как следствие превращения при ~ 650°С / К.Ю. Шахназаров, Е.И. Пряхин // Записки Горного института. - 2016. - Т. 217. - С. 150–155.
7. *Борисова Л.Г.* Особенности макроструктуры точных центробежнолитых заготовок / Л.Г. Борисова, Т.П. Горшкова // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2019. Материалы Международной научно-практической конференции. - СПб.: Санкт-Петербургский горный университет, 2019. - С. 82-85.

УДК 622.285

ФЕДОСЕЕВ Д.В.,
РУДСКИХ И.В.
Санкт-Петербургский горный университет

АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗВИТИЯ АДАПТИВНСТИ СЕКЦИИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ

Аннотация. В статье рассматривается возможность адаптации секций механизированных крепей к изменяемым горно-геологическим условиям при отработке пологих угольных пластов средней мощности длинными комплексно-механизированными очистными забоями.

Ключевые слова: уголь; шахта; очистной забой; комплекс; механизированная крепь; секция; комбайн; конвейер.

FEDOSEEV D.V.,
RUDSKIKH I.V.
Saint-Petersburg Mining University

RELEVANCE OF THE DEVELOPMENT OF ADAPTABILITY SECTIONS OF MECHANICAL SUPPORT

Abstract. The article considers the possibility of adapting sections of mechanized supports to changing mining and geological conditions when working out flat coal seams of medium capacity with long complex-mechanized cleaning faces.

Keywords: coal; mine; treatment face; complex; mechanized support; section; combine; conveyor.

Механизированная крепь (МК) в процессе силового взаимодействия с боковыми породами выполняет три основные функции: управление горным давлением, поддержание непосредственной кровли и ограждение очистного забоя от проникновения в него обрушенных пород кровли и завального пространства. МК является наиболее металлоемким оборудованием очистного забоя. МК должна обеспечивать безопасность и эффективность работы комплекса и людей при добычи угля в длинных очистных забоях при изменяющихся в широком диапазоне условиях по мере отработки выемочного столба (панели). Поэтому секции механизированной крепи (СМК) должны быть приспосабливаемыми к этим переменным горно-геологическим условиям (ГГУ). Однако, современные МК не обладают такими свойствами. Этим, в частности, объясняется изменчивость производительности ОМК, даже при отработке одного столба. Так на рис. 1 представлены графики производительности очистных забоев по шахте «Имени С.М. Кирова» АО «СУЭК-Кузбасс» за 2009-2015 гг. по пласту Болдыревский, при отработки выемочных участков, лава 24. Забой оборудован современными средствами механизации: очистной комбайн JOY 7LS-20, механизированная крепь JOY RS2400/650×2, лавный конвейер JOY AFS38×800/1500. Здесь наглядно прослеживается характер изменения производительности, что говорит о неустойчивости режима работы механизированного комплекса. В периоды стабильной работы рассматриваемые забои достигали нагрузки 300-390 тыс. т. в месяц.

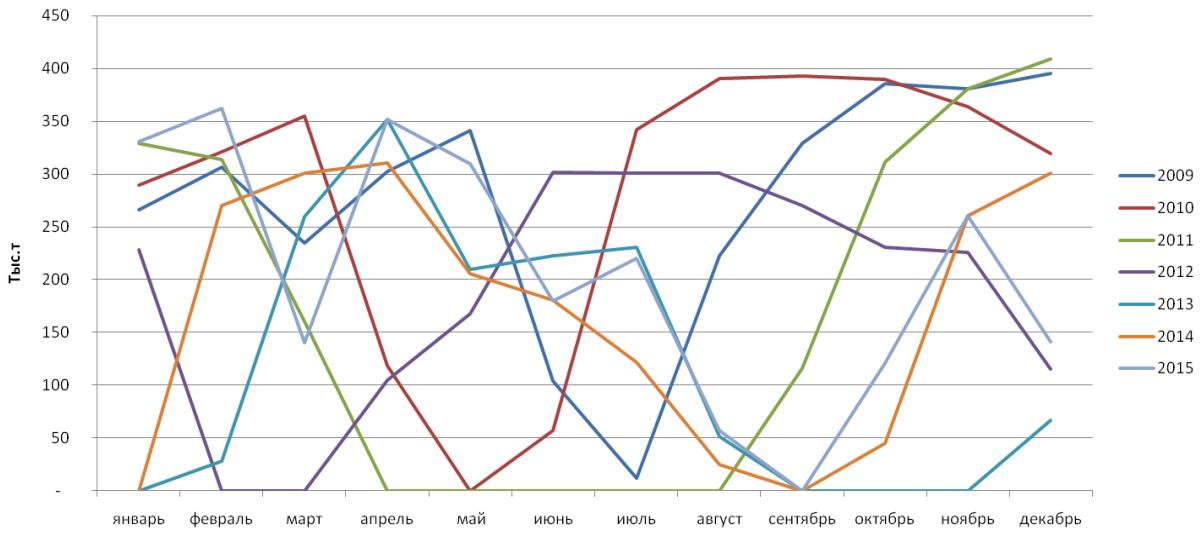


Рисунок 1 - Производительность очистных забоев по шахте «Имени С.М. Кирова», оборудованной механизированной крепью JOY RS 2400/650

С изменением горно-геологических условий нарушается устойчивость режима работы какой-либо одной или нескольких машин, что становится ограничивающим фактором для работы всего комплекса. Обычно такую ситуацию объясняют или степенью сложности условий, или допущенными ошибками при выборе оборудования комплекса для конкретных условий, или недостаточностью проведенных технологических мероприятий по подготовке комплекса и угольного пласта к выемке [1-3]. Такие ситуации, обусловлены также недостаточной приспособленностью машин и оборудования комплекса, в частности «приспосабливаемостью» секций механизированной крепи к внешним, изменяющимся в широком диапазоне, условиям [4-7], которые заранее могут быть оценены только с какой-либо степенью вероятности [8].

Повышение степени адаптации машин и оборудования очистных механизированных комплексов к изменяющимся горно-геологическим условиям является одной из сложнейших задач, как в научном обосновании соответствующих технических решений, так и в практическом их осуществлении. Здесь важная роль отводится адаптации секции механизированной крепи к изменяющимся ГГУ. Адаптивность заключается не в наличии датчиков, а в расширении вспомогательных функций крепи, иными словами в совершенствовании структуры секций крепи.

В настоящее время условно выделяются 3 вида адаптивности СМК [9-12]:

− динамическая;

− контактная;

− кинематическая.

Динамическая адаптивность реализуется срабатыванием каких-либо предохранительных устройств (клапана, демпфера, упругого элемента, аппаратуры управления инерционного действия), ограничивающих динамические нагрузки, при блочном разрушении кровли. Динамическая адаптивность в данной работе не рассматривается.

К видам контактной адаптивности следует относить устройства, позволяющие увеличить площадь контакта поддерживающей части перекрытия СМК с кровлей и улучшить прилегание перекрытия к породам кровли. Этому способствуют такие элементы крепи, как разного вида козырьки, мягкие проставки, пневмобаллонные и безразгрузочные крепи [13].

Под идеальной контактной адаптивной секцией крепи понимается такая секция у которой давление в контактах её элементов с кровлей одинаково и равно среднему

значению, например, как при пневматической мягкой оболочке. Идеальной крепью с контактной адаптивностью будет пневмобаллонная крепь, но такая крепь нетехнологична при передвижке.

Кинематическая адаптивность, заключающаяся в оптимизации взаимного положения кинематических элементов секции крепи в пространстве очистного забоя с изменением внешних сил и параметров забоя. Она зависит от большого количества факторов и решается поиском наиболее удачных кинематических схем и совершенствованием конструкций СМК.

Адаптивность СМК к изменениям внешних условий проявляется в процессе силовых её взаимодействий с кровлей и почвой при выполнении последовательных операций цикла:

$$T_ц = t_{ср} + t_{пд} + t_р + t_{рег},$$

где $t_{ср}$ – время снятия распора; $t_{пд}$ – время передвижки СМК; $t_р$ – время распора секции; $t_{рег}$ – время регулирования сопротивления СМС опусканию пород кровли.

При снятии распора ($t_{ср}$) силы сопротивления СМК опусканию пород кровли изменяются от максимального значения до значения сил подпора ($F_{пп}$) СМК при её передвижки, что способствует возникновению и развитию трещин в породах непосредственной кровли. В процессе передвижки крепи наблюдается динамическое «топтание кровли», обусловленное снятием распора при перемещении секции механизированной крепи к забою, которое также отрицательно воздействует на нижний слой пород кровли» [14].

Время работы секции крепи в режиме регулируемого сопротивления ($t_{рег}$) не зависит от режима работы секции и определяется исключительно длительностью цикла выемки угля в комплексно-механизированных забоях.

Следовательно, современные СМК в принципе не являются кинематически и контактно адаптивными по своей структуре и изменению сил взаимодействия с кровлей при выполнении всех последовательных операций цикла. Конкретных технических решений по данному вопросу кроме научных публикаций и патентов [15-17] практически нет.

Для разработки кинематически и контактно адаптивных СМК необходимо сформулировать к ним требования, осуществить поиск и разработку способов их достижения, разработать схемные и конструктивные их технические решения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *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. - 2. - P. 37-40.
2. *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. - № 1 (135). - С. 37-40.
3. *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 трудов научно-практической конференции. – СПб.: СПГУ, 2017. − С. 84-89.
4. *Stebnev A.V.* Analysis of operation of powered longwall systems in mines of SUEK-Kuzbass / Stebnev A.V. et al. // Eurasian mining. - 2017. - 2. – P. 28-32.
5. *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.
6. *Буялич Г.Д.* Оценка характера взаимодействия крепи с труднообрушаемой кровлей // Совершенствование технологических процессов при разработке месторождений полезных ископаемых: сб. науч. тр. Ассоциация «Кузбассуглетехнология». – Кемерово, 1995. – № 9. – С. 35–37.
7. *Буялич Г.Д.* Повышение сопротивления консолей механизированной крепи / Г.Д. Буялич [и др.] // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2000. – № 5. – С. 82–87.
8. *Коровкин Ю.А.* Механизированные крепи очистных забоев / Ю.А. Коровкин, Ю.Л. Худин. - М.: Недра, 1990. – 413с.
9. *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. № 3 (121). С. 28-34.
10. *Бабырь Н.В.* Повышение адаптивности секции механизированной крепи к медленно изменяемому горному давлению / Н.В. Бабырь, Д.А. Задков // Чтения памяти В.Р. Кубачека Труды XIV международной научно-технической конференции. - Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2016. − С. 18-21.
11. *Buevich V.V.* Adaptation of the mechanized roof support to changeable rock pressure / V.V. Buevich et al. // Eurasian mining. - 2015. – 2. – P. 11-14.
12. *Буевич В.В.* Безимпульсное управление режимом работы гидростоек секций гидрофицированной крепи очистного механизированного комплекса / В.В. Буевич [и др.] // Горное оборудование и электромеханика. - 2015. - № 3 (112). - С. 26-30.
13. *Буевич В.В.* Статически адаптируемая секция крепи механизированного комплекса / В.В. Буевич [и др.] // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромыслового оборудования. - 2014. - Т. 1. № 1. - С. 66-70.
14. *Стебнев А.В.* Совершенствование рабочей характеристики гидропривода стоек секций механизированных крепей очистных комплексов / А.В.Стебнев, В.В.Буевич // Записки Горного института. - 2017. Т. 227. - С. 576-581.
15. *Габов В.В., Задков Д.А., Буевич В.В., Бабырь Н.В., Стебнев А.В.* Секция механизированной крепи с направляющей и опорной балками // Патент на полезную модель Российской Федерации 169381. 2017. Бюл. № 8.
16. *Габов В.В., Стебнев А.В., Задков Д.А., Бабырь Н.В.* Секция гидрофицированной крепи с телескопическим перекрытием // Патент на полезную модель Российской Федерации 173403.2017. Бюл. №24.
17. *Габов В.В., Морозов В.А., Стебнев А.В.* Секция механизированной крепи с телескопическими основанием и перекрытием // Патент на полезную модель Российской Федерации. 2018. Бюл. №4.

УДК 621.92

ФИЛИПЕНКО И.А.
Санкт-Петербургский горный университет,

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ КРОМОК АЛЮМИНИЕВЫХ ИЗДЕЛИЙ ПЕРЕД СВАРКОЙ

Аннотация. В статье рассмотрены основные проблемы сварки изделий из алюминия и его сплавов. Рассмотрены дефекты кромок изделий, влияющие на качество сварного соединения и предложен способ обеспечения качества поверхности кромок перед сваркой.

Ключевые слова:сварка, магнитно-абразивная обработка, качество поверхности, сварной шов.

FILIPENKO I.A.
Saint-Petersburg Mining University,
postgraduate student

PROVIDING THE FINENESS OF ALUMINIUM PRODUCTS' EDGE PREPORATION BEFORE WELDING

Abstract. The article deals with the main problems of welding products made of aluminum and its alloys. Defects in the edges of products that affect the quality of the welded joint are considered and a method for ensuring the quality of the surface of the edges before welding is proposed.

Keywords: welding, magnetic-abrasive finishing, quality of surface, welding joint.

Обеспечение качества сварных соединений является одним из основных вопросов во всех отраслях промышленности. Сварка является самым распространенным способ неразъемного соединения изделий и конструкций [1]. От качества сварного соединения зависит работоспособность таких изделий. Зачастую некачественный сварной шов является началом разрушения и выхода из строя изделий и приборов особой важности и специального назначения [2-4].

Алюминий и его сплавы ввиду своих отличительных технологических, конструкционных и эксплуатационных свойств нашли широкое применение в промышленности. Алюминий является мягким, гибким, легким и при этом коррозиеустойчивым материалом и стал незаменимым в авиа- и судостроении, энергомашиностроении и других отраслях промышленности [5-6].

Однако стоит отметить, что сварка алюминия является крайне сложным технологическим процессом. В первую очередь это связано с образованием устойчивого оксидного слоя на поверхности алюминиевого изделия. Оксидная пленка появляется моментально при контакте алюминиевого изделия с кислородом. Температура плавления алюминия составляет 600 °C, в то время как температура плавления оксидной пленки составляет около 2000 °C [7]. Из-за разницы этих температур оксидная пленка остается в сварном шве в качестве неметаллических включений, что приводит к неоднородности шва и такие включения становятся очагами разрушения сварного соединения. Помимо оксидного слоя на кромках изделия имеются дефекты, оставшиеся после резки листов, их предварительной обработки и контакта с окружающей средой [8-10]. К этим дефектам относятся: впадины, трещины,

загрязнения, посторонние вкрапления и другое.

Для обеспечения качественного сварного шва необходимо осуществлять предварительную обработку кромок изделий перед сваркой [11]. Классическими являются методы механической (обработка наждачной бумагой, металлическими щетками, абразивными кругами) и химической (травление в щелочи) предварительной зачистки кромок изделий [12]. Основным недостатком первого является высокая температура в зоне резания за счет применение жесткого абразива, а недостатком второго является то, что в последствие такой обработки поверхность изделия остается электрохимически активной.

Применительно к алюминию и его сплавам целесообразно применять методы с низкой температурой резания, так как при повышении температуры размер оксидного слоя растет. В связи с этим предлагается использовать метод магнитно-абразивной обработки. Температура в зоне резания при данном методе составляет 45-55 °С, что не позволяет оксидному слою увеличиваться в размере при обработке [13-15]. Также способ магнитно-абразивной обработки позволяет избежать эффекта шаржирования.

Для обработки кромок изделий перед сваркой был разработан способ и получен патент RU2 710 085 C1 [11]. Данный способ заключается в использовании трех синхронно вращающихся полюсных наконечников, которые создают магнитное поле в зоне обработки и обеспечивают равномерную и бездефектную обработку кромки изделия одновременно с боковых и торцевой сторон (рис. 1). Данный способ реализуется на базе станка с числовым программным управлением. Применение данного способа позволяет механизировать данный процесс.

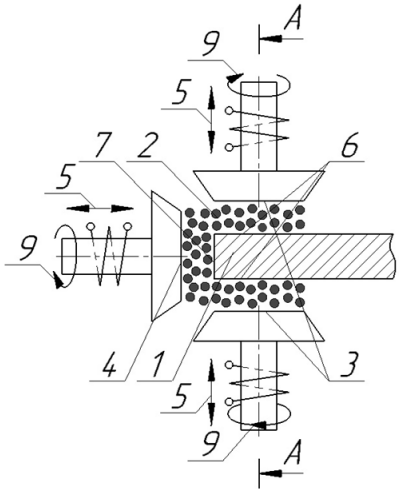


Рисунок 1 – Схема способа магнитно-абразивной обработки кромки изделия перед сваркой

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). - P. 73-78.

2. *Максаров В.В.* Технологические особенности магнитно-абразивной обработки в условиях цифровых технологий / В.В. Максаров, А.И. Кексин, И.А. Филипенко // Металлообработка. - 2019. - № 4 (112). - С. 3–10.

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. - № 1. Т 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, С.А. Ткаченко / Металлообработка. - 2016. - № 2. Т 92. – С. 27-34.
6. *Филипенко И.А.* Совершенствование технологического процесса магнитно-абразивной обработки сложнопрофильных изделий // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2019. Сборник статей и тезисов. Секция «Круглый стол молодых ученых». - СПб.: Санкт-Петербургский горный университет. - 2019. – С. 585-588.
7. *Keksin A.I.* Oil and gas sector products cold working process / A.I. Keksin, I.A. Filipenko // Topical Issues of Rational Use of Natural Resources. - 2019. - Vol. 1. 2020. - P. 400-405.
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).
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. - 1. Vol. 177. – 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. - № 2. – С. 35-40.
11. *Максаров В.В., Кексин А.И., Филипенко И.А.* Способ магнитно-абразивной обработки // Патент Российской Федерации 2710085. 2019. Бюл. № 36.
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 Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2018. - Vol. 194.
13. *Maksarov V.V.* Improvement of magnetic-abrasive finishing of nonuniform products made of high-speed steel in digital conditions / V.V. Maksarov, A.I. Keksin, I.A. Filipenko / Key Engineering Materials. - 2020. - Vol. 836. - P. 71.
14. *Olt J.* Internal thread cutting process improvement based on cutting tools treatment by composite powders in a magnetic field / J. Olt, V.V. Maksarov, A.I. Keksin / Journal of Silicate Based and Composite Materials. - 2018. - 4. Vol. 70. – P. 128-131.
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).

УДК 624.1:624.9:53.043

ФИРСТОВ А.А.
Санкт-Петербургский горный университет,

ПРИМЕНЕНИЕ ДАННЫХ СЪЕМКИ ГЛУБИНЫ ЗАЛОЖЕНИЯ ОСИ УЧАСТКА ПОДЗЕМНОГО ТРУБОПРОВОДА С ПОВЕРХНОСТИ ГРУНТА ДЛЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЕГО ИЗГИБНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ С УЧЕТОМ ПОГРЕШНОСТИ ТРАССОПОИСКОВОГО И НАВИГАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Аннотация. Трубопроводный транспорт нефти и газа в Российской Федерации является одним из наиболее важных и стратегических объектов. От надежности объектов трубопроводного транспорта зависит как экологическая, так и экономическая составляющие развития нашей страны.
В настоящее время наиболее достоверное представление о напряженно-деформированном состоянии магистрального трубопровода основывается на результатах внутритрубной диагностики. Однако, данный вид контроля ввиду ряда присущих ему особенностей не всегда является оптимальным для мониторинга линейной части магистральных трубопроводов. Целью данной работы является разработка и обоснование метода, позволяющего оценить изгибные напряжения участка подземного магистрального трубопровода с использованием средств съемки оси заложения подземного трубопровода с поверхности грунта.

Ключевые слова:подземный трубопровод, напряженно-деформированное состояние, деформации, изгибные напряжения, радиус изгиба, пространственное положения трубопровода, трасспоисковое оборудование.

FIRSTOV A.A.
Saint-Petersburg Mining University,
postgraduate student

APPLICATION OF DATA FOR SHOOTING DEPTH OF AXIS OF BURIED PIPELINE FROM THE GROUND SURFACE FOR ASSESSING BENDING STRESS LEVEL TAKING INTO ACCOUNT ACCURACY OF SURVEY DATA

Abstract. Pipeline transport of oil and gas in the Russian Federation is one of the most important and strategic objects. Both environmental and economic components of the development of our country depend on the reliability of pipeline transport facilities.
Currently, the most reliable method of assessing the stress-strain state of the main pipeline is based on the results of smart pigging. However, this type of control, due to a number of inherent features, is not always optimal for monitoring the linear part of main pipelines. The aim of this work is to develop and justify a method to assess the bending stresses of a section of a buried pipeline using data of recording the axis of the buried pipeline from the ground surface.

Keywords: underground pipeline, stress-strain state, deformations, bend stress, bending radius, spatial position of the pipeline, trace-prospecting equipment.

При эксплуатации подземного трубопровода под воздействием негативных факторов происходит изменение проектной глубины заложения трубопровода [1-6], в результате чего образуются участки с увеличенным уровнем изгибных напряжений, влияющих на напряженно-деформированное состояние (НДС) трубопровода [2, 7].

Несмотря на большое количество эффективных методов оценки мониторинга технического состояния магистральных трубопроводов [8-16], многие из них не применимы к поставленной задачи в силу своих специфических характеристик и условий применимости. Одним из перспективных методов мониторинга опасных участков является метод съемки глубины заложения подземного трубопровода с поверхности грунта с последующим использованием полученных данных для оценки его технического состояния.

При измерении глубины заложения участка трубопровода значения глубины в точках измерений будут представлять собой величину составляющей аппаратной погрешности средства измерения. В связи с этим, результат измерений представляет собой не конкретную точку, а диапазон, равный глубине заложения трубопровода и аппаратной погрешности $h \pm \Delta h$, где h – глубина заложения трубопровода, h = 3 м, Δ – погрешность прибора, Δ = ±5% [17]. При расчете изгибных напряжений целесообразно использовать наиболее консервативные варианты измеренной глубины, то есть выполненные с максимальной аппаратной погрешностью (рис. 1), что соответствует первой и второй конфигурациям точек.

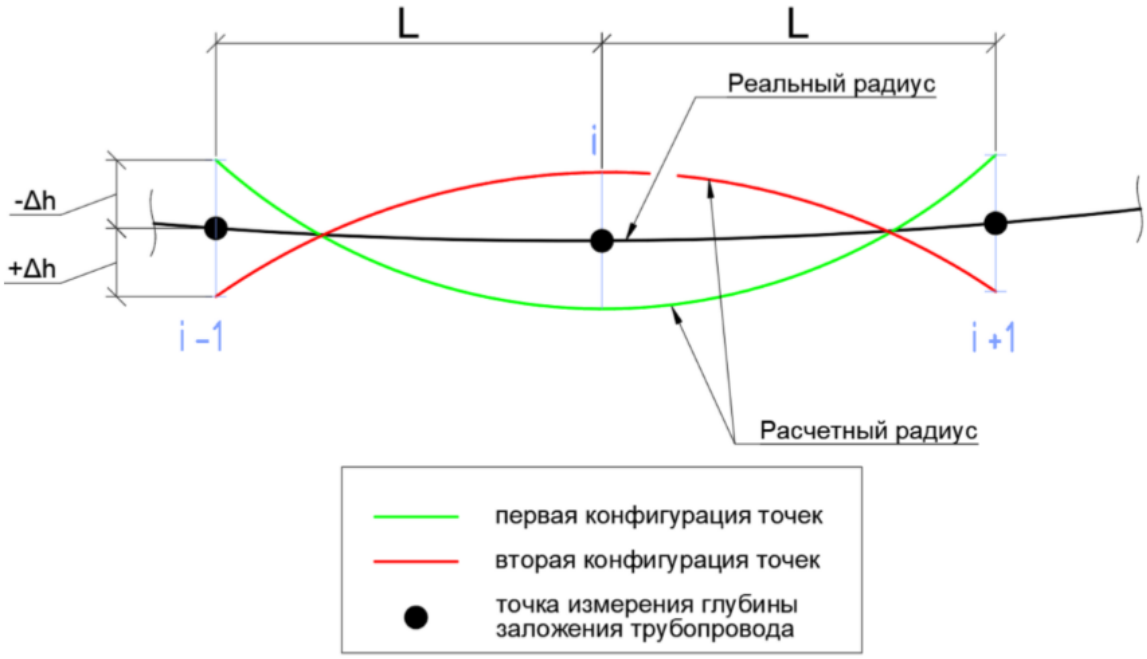


Рисунок 1 – Трубопровод произвольной конфигурации

Ввиду наличия погрешности трассопоискового и навигационного оборудования необходима математическая модель, позволяющая нивелировать аппаратную погрешность трассопоискового и навигационного оборудования при проведении съемки. Теоретически установлено [18-20], что погрешность в определении изгибных напряжение без учета погрешности оборудования может достигать значений более 50%.

Разработанная математическая модель представляет собой зависимость погрешности в определении изгибных напряжений $\Delta\sigma$ от шага измерений между точками L. Данная зависимость представляет собой функцию, состоящую из экспоненциальной и обратно-пропорциональной составляющих, которую можно описать комбинацией этих составляющих с введением эмпирических коэффициентов. Поиск коэффициентов сводится к решению задачи минимизации функции среднеквадратичной ошибки функции, то есть нахождение минимума целевой функции.

На значение погрешности в определении изгибных напряжений $\Delta\sigma$ кроме шага измерений между точками L так же влияет погрешность оборудования Δ и глубина заложения трубопровода h. В работе введена зависимость между составляющими функции и глубиной залегания трубопровода, которую можно оценить верхней оценкой в наиболее консервативной точке. Полученные регрессионные модели для трубопроводов Ду1400-Ду800 при различной глубине залегания трубопровода имеют высокую корреляцию с теоретическими расчетами на основе геометрических соотношений. Результаты расчетов указывают на высокую точность подобранной математической модели и ее регрессионных коэффициентов, а также на простоту и быстроту расчета и возможности его использования на практике.

Результатом работы является модель определения оптимального шага для проведения съемки глубины залегания подземного трубопровода с поверхности грунта с учетом условий эксплуатация трубопровода и погрешности трассопоискового и навигационного оборудования. Оптимальным шагом при данной съемке будет являться такой шаг, при котором погрешность в определении изгибных напряжений не будет превышать максимальной погрешности в расчете изгибных напряжений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 86.13330.2014 Магистральные трубопроводы (пересмотр актуализированного СНиП III-42-80* «Магистральные трубопроводы» (СП 86.13330.2012) (с Изменениями № 1, 2). - М.: Госстрой, ФАУ «ФЦС», 2014.

2. *Неганов Д.А.* Разработка расчетных схем подземных трубопроводов с ненормативной кривизной оси с учетом данных внутритрубной диагностики / Д.А. Неганов [и др.] // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. - 2017. - Т. 7. № 6. - С. 16–27.

3. *Гимазетдинов И.Р.* Некоторые особенности напряженного состояния трубопроводов на переходах через резки и овраги / И.Р. Гимазетдинов [и др.] // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2014. – № 3 (97). – С. 55-65.

4. *Мастобаев Б.Н.* Выявление потенциально опасных участок магистральных газопроводов на пересечениях с геодинамическими зонами / Б.Н. Мастобаев [и др.] // Трубопроводный транспорт: теория и практика. - 2017. - № 3 (61). - С. 38-43.

5. *Исламов Р.Р.* Анализ средств и методов мониторинга напряженного состояния подземных магистральных нефтегазопроводов, работающих в сложных инженерно-геологических условиях / Р.Р. Исламов, Р.В. Агиней, Е.В. Исупова // Транспорт и хранения нефтепродуктов и углеводородного сырья. - 2017. - № 6. - С. 31-40.

6. *Варшицкий В.М.* Исследование напряженного состояния трубопроводов с ненормативной кривизной оси / В.М. Варшицкий, Э.Н. Фигаров, И.Б. Лебеденко // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. - 2018. – Т. 8. № 3. – С. 273-277.

7. *Исламов Р.Р.* Ретроспективный анализ причин отказов на магистральных нефтегазопроводах, работающих в осложненных инженерно-геологических условиях / Р.Р. Исламов, Я.М. Фриндлянд, Р.В. Агиней // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2016. – № 6. – С. 38–44.

8. *Исламов Р.Р.* Совершенствование системы мониторинга технического состояния протяженных участков магистральных нефтегазопроводов применением волоконно-оптических сенсоров деформации: дис. ... канд. техн. наук. – Ухта, 2018. – 168 с.

9. *Зайцев Н.Л.* Методы измерения радиуса кривизны и изгибных напряжений в трубопроводах / Н.Л. Зайцев, А.Л. Бикбулатов, Р.Р. Багманов // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2015. – № 2 (100). – С. 110-119.

10. *Колосова Н.М.* К анализу напряженного состояния изгиба трубопровода по высотному положению / Н.М. Колосова, О.В. Михеева, Э.Ю. Шмагина // Техническое

регулирование в транспортом строительстве. – 2016. - № 2 (16). – С. 5-8.
11. *Бехтерев С.В.* Методика измерений напряженно-деформированного состояния нефтегазопроводов / С.В. Бехтерев, А.А. Гинзбург, А.Б. Макунин // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2015. - № 3. – С. 280-285.
12. *Мирошник А.Д., Гурин С.Ф., Кирьянов М.Ю., Орлов В.В.* Способ измерения радиуса кривизны трубопровода по данным геодезических измерений // Патент Российской Федерации 2592733. 2016. Бюл. №21.
13. СП 36. 13330.2012 Магистральные трубопроводы. Актуализированная редакция СНиП 2. 05. 06-85* (с Изменениями № 1, 2). - М.: Госстрой, ФАУ «ФЦС», 2013.
14. *Агиней Р.В.* Исследование зависимости сдвига частоты бриллюэновского рассеяния в оптическом сенсоре от механических напряжений / Р.В. Агиней, Р.Р. Исламов, А.А. Годунов // Наука и тенологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. - 2019. - Т.9. №5. - С. 512-521.
15. *Исламов Р.Р.* Определение продольных механических напряжений в трубопроводе на основании данных волоконно-оптических датчиков деформации / Р.Р. Исламов [и др.] // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. - 2016. - № 5. - С. 45-50.
16. *Глинкин Д.Ю., Гурин С.Ф., Крючков В.А., Кирьянов М.Ю., Орлов В.В.* Способ измерения радиусов изгиба трубопровода на основе данных диагностического комплекса для определения положения трубопровода // Патент Российской Федерации 2655614. 2018. Бюл. №16.
17. *Спиридович Е.А.* Повышение надежности магистральных газопроводов в условиях коррозионного растрескивания под напряжением: дис. ... д-ра. техн. наук. – пос. Развилка, 2014. – 422 с.
18. *Кузьбожев А.С.* Исследование влияния шага измерений профиля газопровода на точность расчета радиусов изгиба его оси / А.С. Кузьбожев, И.Н. Бирилло, М.М. Бердник // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. – 2018. – № 4. – С. 43-49.
19. *Овчинников Н.Т.* Методические вопросы применения радиусов изгиба при мониторинге состояния трубопроводов // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. - 2018. - № 3. - С. 278-289.
20. *Бирилло И.Н.* Точность расчета радиусов изгиба оси трубопровода в зависимости от шага контроля ее конфигурации // Наука в нефтяной и газовой промышленности. - 2011. -№2. - С. 6-10.

УДК:621.396.967.2:734.75.012

ХАЛТУРИН А.А.
Санкт-Петербургский горный университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА С ЦЕЛЬЮ ОБНАРУЖЕНИЯ И МОНИТОРИНГА НЕФТЯНЫХ РАЗЛИВОВ НА ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Аннотация. Целью данной работы является исследование использования различных существующих методов и инструментов по мониторингу нефтяных разливов на водной поверхности для последующего их сравнительного анализа и выявления наиболее эффективных.
В результате анализа методов и инструментов мониторинга рассматривается возможность их комбинированного использования в составе автоматизированного комплекса, а также предлагаются возможные потребители данной системы, подтверждается актуальность предложенного технического решения.

Ключевые слова: автоматизированный комплекс, бортовой комплекс, экологический мониторинг, разливы нефти, радиолокация.

KHALTURIN A.A.
Saint-Petersburg Mining University

USING OF AUTOMATED COMPLEX FOR DETECTING AND MONITORING OF OIL SPILLS ON THE WATER SURFACE

Abstract. The purpose of this work consists in studying of using different existing tools and methods for monitoring of oil spills on the water surface for making an analysis of them and identification of the most effective/
As a result of analysis of these methods and tools the possibility of their combined usageas a part of automated complex is being considered. Also there are suggested possible users of this system, the relevance of the proposed technical solution was confirmed.

Keywords: automated system, onboard system, environmental monitoring, oil spills, radar.

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ

На сегодняшний день проблема экологии является одной из самых актуальных для всего мирового сообщества. Деятельность человека пагубно влияет на все сферы Земли (литосферу, гидросферу и атмосферу). При этом, человек, являясь главным виновником сложившейся экологической ситуации, становится и главной ее жертвой: по имеющимся данным, от загрязнения водных ресурсов, атмосферного воздуха и почвенного покрова в мире гибнет порядка 40 % людей [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

В произведённых к.т.н. Трофимовым Б.С. исследованиях по нефтяным загрязнениям говорится, что в среднем в воды Мирового океана попадает от 30 до 60 миллионов баррелей в год.

При попадании в воду «чёрное золото» формирует нефтяное пятно (нефтяную плёнку) на поверхности водоёма, именно в этом слое находится самое большое число микроорганизмов, а также происходит насыщение воды кислородом [2, 3].

Помимо огромного ущерба экологии подобные техногенные катастрофы в виде нефтяных разливов на водной поверхности могут нанести колоссальный

экономический ущерб, а также вовлечь ответственные за процесс добычи и транспортировки нефти компании в затяжные судебные тяжбы.

Подробные данные по источникам нефтяных загрязнений и их объёмам приведены в табл. 1 [4].

Таблица 1

Распределение вклада различных источников в загрязнении мирового океана нефтью

Источник загрязнения	Общее количество, млн. т/год	Доля, %
Транспортные перевозки	2,13	34,9
Обычные перевозки	1,83	30,0
Катастрофы (при транспортировке)	0,3	4,9
Вынос реками	1,9	31,1
Попадание из атмосферы	0,6	9,8
Природные источники	0,6	9,8
Промышленные отходы	0,3	4,9
Городские отходы	0,3	4,9
Отходы прибрежных нефтеочистительных заводов	0,2	8,3
Добыча нефти в открытом море	0,08	1,3
Обычные операции (при добыче)	0,02	0,3
Аварии (при добыче)	0,06	1,0
ИТОГО:	6,11	100

Загрязнение Мирового океана нефтью и нефтепродуктами несет в себе крайне негативные последствия, а именно:

- Нарушение энерго- и теплообмена между слоями водных масс;
- Гибель многих морских обитателей;
- Патологические изменения в органах и тканях живых организмов.

Всех этих проблем можно было бы избежать в случае предотвращения или оперативного предупреждения нефтяных разливов. Осуществить подобное можно только в случае использования качественной, точной и оперативной системы мониторинга разливов [5]

Оснащение подобной системой объектов и производств по добыче, транспортировке или переработке нефти позволит нефтяным компаниям не только быстро реагировать на возможные аварии (разливы), но и в будущем иметь доказательную базу причастности или непричастности к подобным техногенным катастрофам [6].

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА НЕФТЯНЫХ РАЗЛИВОВ НА НЕФТЯНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

На сегодняшний день существует множество методов мониторинга разливов нефти на суше и водной поверхности. Рассмотрим наиболее известные из них, а также проведём сравнительный анализ для выявления лучших [7].

В качестве критериев для определения наилучших методов мониторинга нефтяных разливов определим:

- Быстродействие (как можно скорое обнаружение разлива и оперативное сигнализирование о происшествии).

- Точность (качественные и приближенные к реальности данные мониторинга).

- Универсальность (использование данного метода повсеместно, при любых условиях: на суше, на воде и т.д.).

- Экономичность (дешевизна метода, не в ущерб его качеству).
- Индивидуальные имеющиеся положительные стороны метода.

Таблица 2

Сравнительный анализ существующих средств и методов мониторинга нефтяных разливов на нефтяной поверхности

Метод	Описание	Преимущества (+) и недостатки (-)
Радиометрический	Измерение теплового излучения участков разлива нефти и сравнение их яркостной температуры с температурой участков чистой воды	Всепогодность (+) Измерение толщины пленки (+) Снижение возможности раннего обнаружения и точности измерения при волнении и наличии пены (–)
Радиолокационный [10]	Активная радиолокация в сантиметровом, миллиметровом диапазонах	Пространственный обзор (+) Определение положения, формы и размера пятна (+) Всепогодность (+) Независимость от освещения (+) Невозможность раннего обнаружения пятен на водной поверхности при штиле и при большой волне (–)
Фотографический	Фото– и видеосъемка (в видимом, ультрафиолетовом (УФ) и инфракрасном (ИК) диапазонах длин волн	Пространственный обзор (+) Не зависит от освещения (для УФ и ИК) (+) Искажение данных при наличии облачности и осадков (–)
Лазерный	Индикация контраста в отражательных, рассеивающих или флуоресцентных свойствах чистой воды и воды с нефтяной пленкой	Всепогодность (+) Возможность определения типа нефтепродукта (+) Точечная зона контроля (–)
Летательные аппараты (ЛА)	Фотографический мониторинг, картографирование, тепловизионный контроль	Пространственный обзор (+) Возможность раннего обнаружения возможного незаконного присоединения к нефтепроводу (+) Колоссальные затраты на топливо (–) Невозможность мониторинга в плохих погодных условиях (–)
Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) [11]	Цифровое картографирование, фото– и видеосъемка	Возможность создания цифровой карты местности (+) Быстрый и оперативный контроль утечки сырья (+) Низкий уровень потребления топлива, низкая стоимость (+) Ограниченное время использования (–) Невозможность мониторинга в плохих погодных условиях (–)

Глобально существующие методы мониторинга можно разделить на лабораторные (физико-химические) и натурные. Сравнительный анализ существующих средств и методов по мониторингу нефтяных разливов на водной поверхности представлен ниже (табл. 2) [8].

В результате анализа существующих инструментов и методов мониторинга нефтяных разливов на водной поверхности, а также мест, где чаще всего эти разливы происходят, мы пришли к выводу о возможной установке и последующего эффективного использования автоматизированного комплекса в составе нефтяной платформы [9].

Данный комплекс будет включать в себя работу наиболее эффективных (для данных условий установки в составе нефтяной платформы) средств радиометрического, радиолокационного и лазерного мониторинга [12].

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ВЫБРАННЫХ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА НЕФТЯНЫХ РАЗЛИВОВ

В качестве практического применения подобранной автоматизированной бортовой системы в составе нефтяной платформы с использованием радиометрического, радиолокационного и лазерного датчиков рассмотрим следующие примеры (рис. 1).

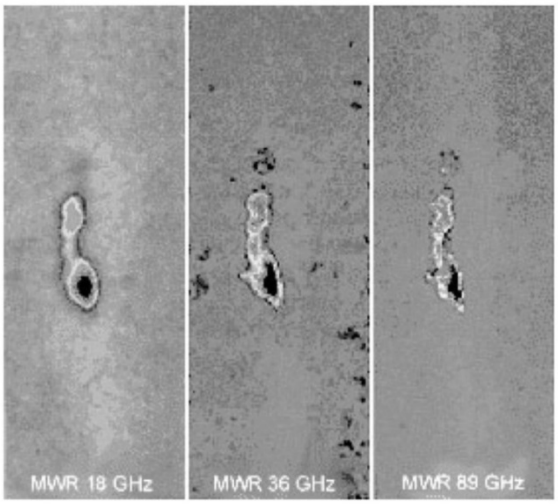


Рисунок 1 - Результаты использования радиометрического датчика MWR при анализе нефтяного пятна на водной поверхности

Многочастотные датчики MWR используются для оперативного наблюдения за загрязнением в Германии [13].

MWR OPTIMARE способен обнаруживать, измерять и отображать слои масла толщиной от 0,05 до 3 миллиметров сообщает, что приборы MWR позволяют измерять толщину масляной пленки в диапазоне от 0,05 до 2,5 мм при полете на высоте 300 м. Системы MWR, работающие на частотах 18, 36 и 89 ГГц, предоставляют дополнительную информацию с различными пространственными разрешениями следующим образом:

- 18 ГГц: чувствителен к более толстым пленкам, пространственное разрешение - 22 м;
- 36 ГГц: компромисс в отношении пространственного разрешения (11 м) и всепогодных возможностей; а также:
- 89 ГГц: чувствительность к тонким пленкам, пространственное разрешение 5 м [14, 15].

ВЫВОД

Предложенное техническое решение в виде автоматизированного бортового комплекса в составе нефтяной платформы для мониторинга нефтяных разливов является актуальным и перспективным для реализации и последующего использования.

На дальнейших этапах развития данного исследования требуется провести математическое моделирование и при возможности серию практических испытания по комбинированному использованию предложенных средств мониторинга в реальных условиях для получения наглядных доказательств эффективности использования подобного комплекса.

В заключении необходимо отметить важность данного исследования для использования вышеописанного комплекса при освоении арктического шельфа, так как местные суровые климатические условия не предоставляют возможности использовать традиционные визуальные инструменты мониторинга [16, 17].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Трофимов Б.С.* Использование импульсных РЛС миллиметрового диапазона для поиска разливов нефти: дис. ... канд. техн. наук, 2014. - С. 2-7.
2. *Толкова Т.С.* Методы экологического мониторинга нефтяных загрязнений / Т.С. Толкова, М.Г. Куликова // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5 (часть 1) – С. 90-91;
3. *Бородин М.А., Игнатьева О.А., Леонтьев В.В.* Способ обнаружения нефтяных пленок на водной поверхности // Патент РФ RU 2529886. 2014. Бюл. № 28.
4. *Халтурин А.А.* Использование импульсных судовых и береговых радиолокационных станций для обнаружения разливов нефти // Современные образовательные технологии в подготовке специалистов для минерально-сырьевого комплекса. Сборник научных трудов II Всероссийской научной конференции. - 2018. - С. 1282-1288.
5. *Burko R.A.* Environmental problems of modern society and their solutions. - 2013. - P. 237-238.
6. *Радионова С.Г.* Оценка возможности применения современных методов раннего обнаружения и мониторинга аварийных разливов нефти и нефтепродуктов на водных объектах / С.Г. Радионова, С.А. Половков, В.Н. Слепнёв // Нефтяное хозяйство. - 2017. - С. 129-138.
7. *Черняев А.В.* Моделирование процессов распространения нефтяных загрязнений по акватории малых водотоков / А.В. Черняев, А.А. Павлов // Записки Горного института. -2013. - Т.203. - С. 237–241.
8. *Шпенст В.А.* Автоматизированный бортовой комплекс для мониторинга нефтяных разливов на водной поверхности / В.А Шпенст, А.А. Халтурин, А.Д. Булдыско // СТУДЕНТ ГОДА 2019. Сборник статей Международного научно-исследовательского конкурса: в 3 ч. - 2019. - С. 16-22.
9. *Zhang A.* Optimal Planning of Integrated Energy Systems for Offshore Oil Extraction and Processing Platforms / A. Zhang et al. // Energies. - 2019. 12(4). - 756.
10. *Бескид П.П.* Выявление неоднородностей водной поверхности на основе радиолокационных изображений / П.П. Бескид, А.Д. Шишкин, Чернецова Е.А. - СПб.: Изд-во РГГМУ, 2014. - 16 с.
11. ZALA AERO GROUP. Беспилотные системы [Электронный ресурс] - http://zala.aero/category/applications/monitoring/ neftegazoprovodov-mest-dobychi-uglya/ – (Дата обращения 17.04.2019).

12. *Shpenst V.A.* Ways of Telecommunications Interaction Arrangement for Microprocessor Devices of Different Types in Composition of Multi-Motor Electric Drives / V.A. Shpenst et al. // Journal of Physics: Conference Series. - 2018. - P. 208-220.
13. Oil Spill Detection and Mapping in Low Visibility and Ice: Surface Remote Sensing. Final Report. 5.1. Report from Joint Industry Programme to define the state-ofthe-art for surface remote sensing technologies to monitor oil under varying conditions of ice and visibility: [Electronic resource].
http://www.arcticresponsetechnology.org/wp-content/uploads/2017/09/Report-5.1-SURFACE-REMOTE-SENSING.pdf.
14. *Figoli D.* Creating a Sine Modulated PWM Signal Using the TMS320F240 EVM, APPLICATION REPORT: SPRA411, Texas Instruments.
15. *Arefeen Mohammed S.* Configuring PWM Outputs of TMS320F240 with Dead Band for Different Power Devices, APPLICATION REPORT: SPRA289, Texas Instruments.
16. *Puestow T.* Oil spill detection and mapping in low visibility and ice: surface remote sencing. - 2013. - P. 28–39.
17. *Putikov O.* Application of geoelectrochemical method for exploration of petroleum fields on the Arctic shelf. - 2019. - P. 27–42.

УДК 621.314

ХОРШЕВ А.А.,
ЦВЕТКОВ И.А.,
ЖУКОВА А.А.,
ДЗЛИЕВ С.В.
СПбГЭТУ «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
ЧУБЫКИН В.А.
Санкт-Петербургский горный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО-ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СХЕМЫ СОГЛАСОВАНИЯ ИНДУКТОРА С ИНВЕРТОРОМ НАПРЯЖЕНИЯ

Аннотация. Исследована последовательно-параллельная схема согласования индуктора с инвертором напряжения. Определено влияние на работу схемы cos φ индуктора и соотношения между входным током схемы и током индуктора. По результатам моделирования построены графики зависимости требуемого запаса по току генератора от cos φ индуктора. Описана методика расчёта элементов схемы по известным параметрам индуктора и инвертора.

Ключевые слова: инвертор напряжения; индукционный нагрев; последовательно-параллельная схема согласования.

KHORSHEV A.A.,
TSVETKOV I.A.,
ZHUKOVA A.A.,
DZLIEV S.V.
Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”
CHUBYKIN V.A.
Saint-Petersburg Mining University

STUDY OF SERIAL-PARALLEL MATCHING SCHEME OF INDUCTOR WITH A VOLTAGE INVERTER

Abstract. A serial-parallel matching scheme of inductor with a voltage inverter is studied. The influence of the inductor cos φ and the relationship between the input circuit current and the inductor current on the scheme is studied. Based on the results of modeling, graphs of the scheme maximum input current excess over the nominal current dependence on cos φ of the inductor are plotted. The methodology of the scheme elements calculating according to the known parameters of the inductor and inverter is described.

Keywords: voltage inverter; induction heating; matching scheme; serial-parallel matching scheme.

ВВЕДЕНИЕ

Для питания установок индукционного нагрева в диапазоне от десятков до сотен кГц используются транзисторные преобразователи на основе инвертора тока (параллельного) и инвертора напряжения (последовательного) [1, 2]. Преимуществами инвертора напряжения являются безынерционный емкостной фильтр на входе и частотное регулирование мощности в индукторе. Классическая последовательная схема согласования инвертора напряжения с индуктором (рис. 1,а) имеет существенный недостаток – она требует трансформатора на выходе инвертора, и ток индуктора,

который может достигать нескольких кА, протекает через его вторичную обмотку. Возможным решением проблемы является использование последовательно-параллельной схемы, изображённой на рис 1,б [3, 4]. Для выбора оптимальной схемы согласования исследованы её частотные характеристики, разработана методика расчета параметров.

Эта схема решает две основные задачи согласования нагрузки с генератором: приводит сопротивление нагрузки к номинальному сопротивлению генератора и компенсирует реактивную мощность индуктора. Для компенсации реактивной мощности индуктора установка должна работать на резонансной частоте, однако непосредственно при резонансе потери в транзисторах возрастают, поэтому оптимальной является область более высоких, чем резонансная, частот, для обеспечения мягкой коммутации транзисторов [5, 6, 7], поэтому схема работает на частоте, близкой к параллельному резонансу.

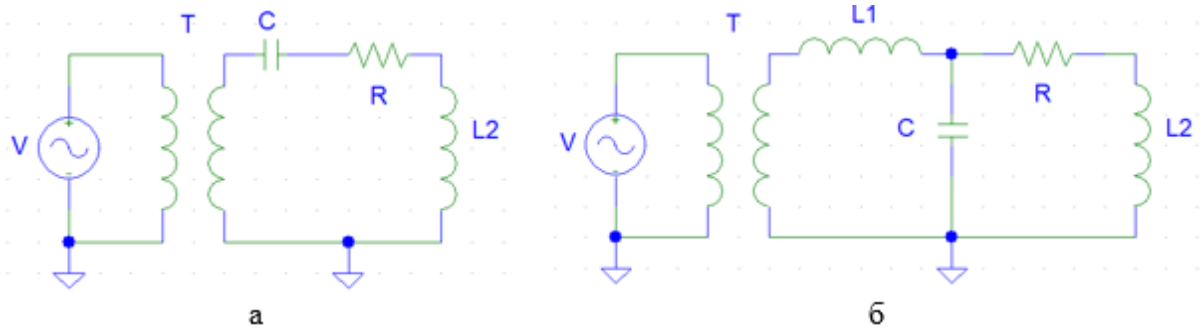


Рисунок 1 - Последовательная (а) и последовательно-параллельная (б) схемы согласования индуктора с инвертором напряжения

Для приведения сопротивления индуктора к номинальному сопротивлению генератора классическая последовательная схема использует трансформатор. В последовательно-параллельной схеме сочетание дополнительной индуктивности и параллельно подключенного к индуктору конденсатора обеспечивает сходный эффект, однако в определённых условиях и последовательно-параллельная схема требует использования понижающего трансформатора.

ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СХЕМЫ

Для инвертора напряжения частотная характеристика нагрузки крайне важна, так как регулирование мощности в таком инверторе осуществляется именно частотой [1]. Частотная характеристика последовательной схемы согласования имеет простую куполообразную форму (сплошные линии на рис. 2) с максимумом на единственной резонансной частоте; ширина купола увеличивается вместе с добротностью колебательного контура. Последовательно-параллельная схема имеет три реактивных элемента, форма её частотной характеристики сложнее (пунктирные линии на рис. 2).

У этой цепи есть две резонансные частоты, однако при слишком большой дополнительной индуктивности резонанс в цепи отсутствует. Кроме того, максимумы мощности и тока не совпадают по частоте ни с одним из резонансов и друг с другом, и разница частот тем больше, чем больше значение cos φ индуктора на рабочей частоте. Это обстоятельство требует наличия запаса по току у источника, и этот запас должен быть тем больше, чем выше cos φ индуктора.

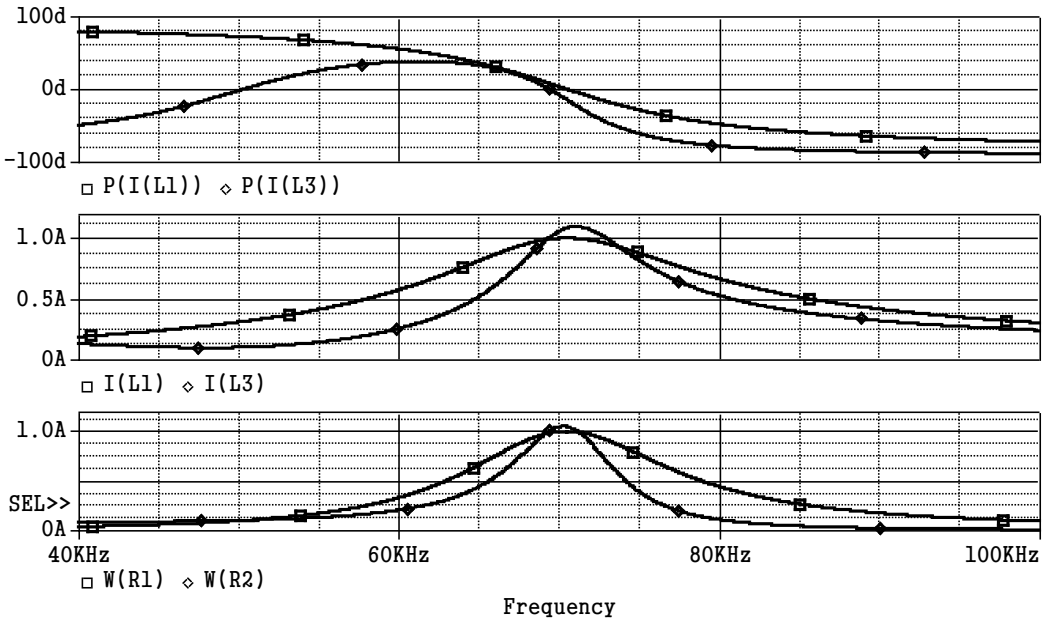


Рисунок 2 – Частотные зависимости активной мощности ($W(R_1)$, $W(R_2)$,) величины входного тока ($I(L_1)$, $I(L_3)$) и его фазы ($P(I(L_1))$, $P(I(L_3))$) в последовательной (сплошные линии) и последовательно-параллельной (пунктирные линии) схемах согласования

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СХЕМЫ

Для индукторов с низким cos φ и с напряжением, значительно (в 2 и более раза) большим, чем напряжение источника, возможен расчёт схемы согласования по упрощённым формулам (1, 2):

$$L_1 \approx L_2 \cdot \frac{I_2}{I_1}; \tag{1}$$

$$C \approx \frac{1}{4\pi f^2 L_2}, \tag{2}$$

где L_1 – дополнительная индуктивность; L_2 – индуктивность индуктора; C – ёмкость конденсатора; I_2 – ток индуктора, при котором в нагрузке выделяется номинальная (максимальная) мощность; I_1 – ток источника, при котором в нагрузке выделяется номинальная мощность; f – заданная рабочая частота.

Представленные выше формулы получаются в результате упрощения уравнений цепи, записанных в комплексных амплитудах и комплексных сопротивлениях (3).

$$\begin{gathered} \dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_C}{jX_{L2} + R}; \\ \dot{U}_C = \dot{U}_0 - jX_{L1}\dot{I}_1; \\ \dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_0 - jX_{L1}\dot{I}_1}{jX_{L2} + R}, \end{gathered} \tag{3}$$

где $\dot{U}_C$ – напряжение на конденсаторе; X_{L1} – комплексное сопротивление дополнительной индуктивности; X_{21} – комплексное сопротивление индуктивности индуктора.

Как было отмечено ранее, максимум тока источника находится на более высокой частоте, чем максимум мощности. Значит, при изменении мощности в нагрузке от 0 до максимума требуется пройти максимум тока, так как рабочей для инвертора напряжения является область высоких (по отношению к резонансу) частот. Чем меньше значение cos φ индуктора, тем меньше разница между максимальным входным током

схемы (максимальным током источника) I_{1max} и входным током, при котором в нагрузке выделяется максимальная мощность (рабочим током, I_{10}). Для частотного регулирования мощности необходимо, чтобы запас по току источника питания был больше, чем эта разница, поэтому необходимо установить чёткую зависимость между требуемым запасом по току и cos φ.

Для определения зависимости перегрузки по току от cos φ индуктора был проведён ряд численных моделирований схемы согласования с различными соотношениями между дополнительной индуктивностью и индуктивностью индуктора. В результате был получен набор кривых, демонстрирующих зависимость относительного превышения максимального входного тока схемы над рабочим (I_{1max} – I_{10}) / I_{10} от cos φ индуктора (рис. 3).

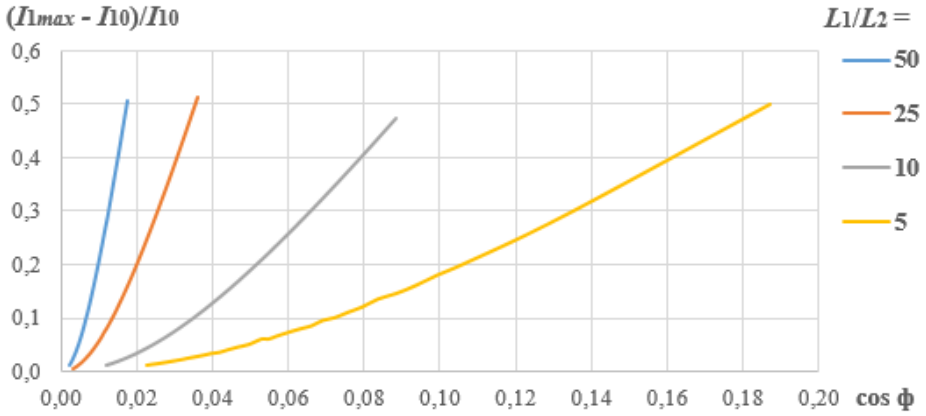


Рисунок 3 – Зависимость относительного превышения максимального входного тока схемы над рабочим (I_{1max} – I_{10}) / I_{10} от cos φ индуктора при различных соотношениях дополнительной индуктивности к индуктивности индуктора

Для определения требуемого запаса по току источника питания удобно пользоваться графиком, представленным на рис. 4. Здесь требуемый запас генератора по току (относительный) является параметром кривой, а на оси ординат, вместо отношения индуктивностей, согласно (1), указано соотношение между выходным и входным током схемы (током индуктора и током источника), при которых в нагрузке выделяется максимальная мощность.

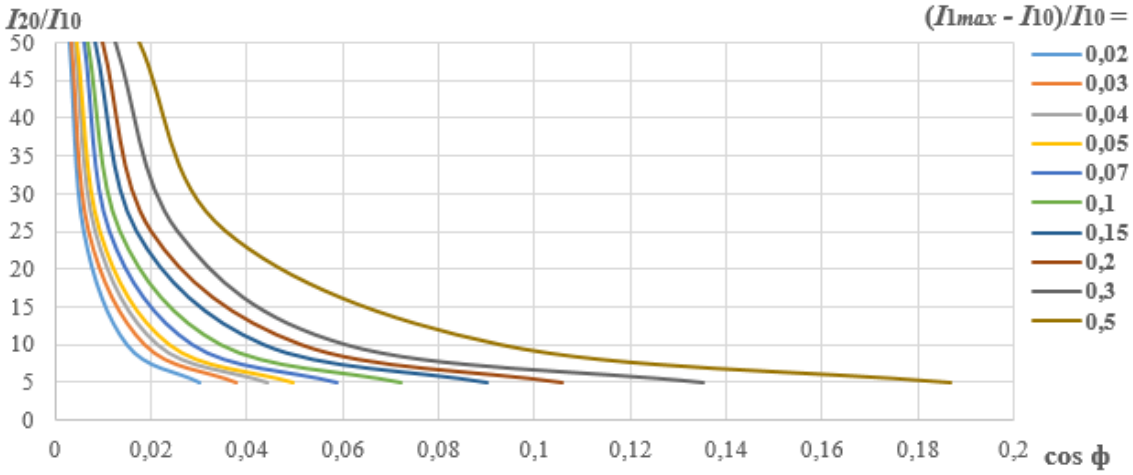


Рисунок 4 – Зависимость отношения выходного тока схемы к входному от cos φ индуктора; справа от графика указаны значения требуемого запаса источника по току, соответствующие каждой из кривых

Для того, чтобы определить требуемый запас источника по току, необходимо из точки на оси абсцисс, соответствующей cos φ индуктора, отложить вертикальную прямую, а из точки на оси ординат, соответствующую соотношению токов индуктора и источника - горизонтальную. Точка их пересечения указывает на кривую, соответствующую требуемому запасу по току (рис. 5), и при выборе источника следует задаваться значением, несколько бóльшим, чем полученное. Ток индуктора определяется по закону Джоуля-Ленца, исходя из заданной мощности и активного сопротивления индуктора, а ток источника – как отношение мощности к его номинальному напряжению.

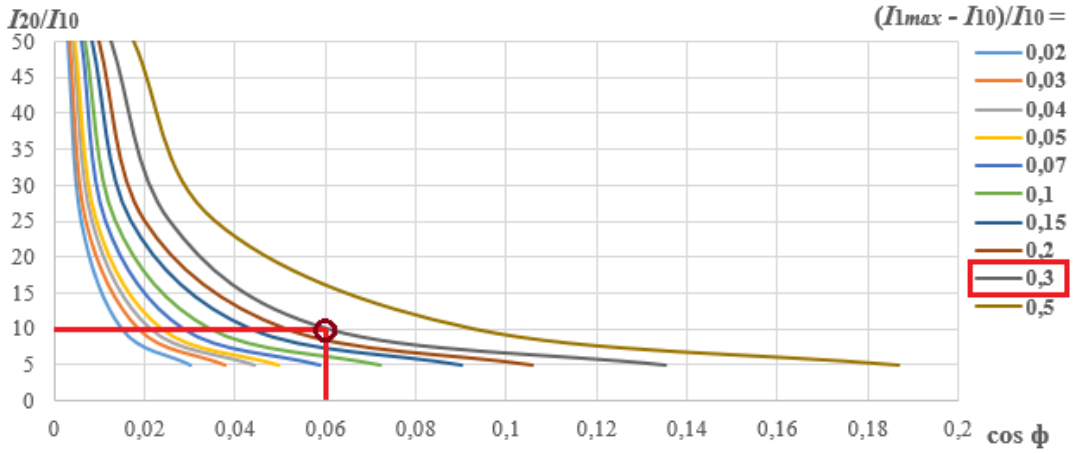


Рисунок 5 – Определение требуемого запаса по току генератора

Если необходимо использовать источник питания с меньшим запасом по току, то следует использовать понижающий трансформатор на входе схемы, как показано на рис. 1,б. Коэффициент трансформации должен быть таким, чтобы новое соотношение выходного и входного токов было меньше, чем значение, соответствующее запасу по току используемого источника и cos φ индуктора. После выбора коэффициента трансформации значение дополнительной индуктивности пересчитывается, исходя из нового соотношения токов.

Пример расчёта схемы согласования и требуемого запаса по току генератора:

24-витковый индуктор для нагрева трубы из немагнитной стали (4 секции по 6 витков, включенные в параллель); номинальная мощность P = 40 кВт; резонансная частота – 66 кГц; номинальное напряжение первой гармоники источника U = 450 В; сопротивление и индуктивность индуктора R = 13,6 мОм, L_2 = 1,6 мкГн.

Для определения запаса по току генератора необходимо вычислить рабочий ток в индукторе и в цепи источника:

$$I_{20} = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{40000}{0,0136}} = 1715A;$$

$$I_{10} = \frac{P}{U_0} = \frac{40000}{450} = 88,9A.$$

Затем необходимо определить cos φ индуктора:

$$\cos\varphi = \frac{R}{(2\pi f L_2)^2 + R^2} = \frac{0,0136}{(2\cdot 3,14\cdot 66000\cdot 1,6\cdot 10^{-6})^2 + 0,0136^2} = 0,021.$$

Отношение токов индуктора и источника равно 19,3. Точка с координатами [0,021; 19,3] на графике из рис. 4 лежит между кривыми, соответствующими относительному запасам по току 0,07 и 0,1. Значит максимальный ток генератора должен быть больше или равен I_{10} · (1 + 0.1) = 88,9 · 1,1 = 97,8 А, чтобы схема могла

использоваться без трансформатора.

Напряжение на индукторе в 2,5 раза больше напряжения генератора, поэтому расчёт схемы по формулам (1), (2) в данном случае применим:

$$U_2 = \frac{P}{I \cdot \cos\varphi} = \frac{40000}{1715 \cdot 0,021} = 1110B;$$

$$L_1 = L_2 \cdot \frac{I_{20}}{I_{10}} = 1,6 \cdot 10^{-6} \cdot 19,3 = 30,1мГн;$$

$$C = \frac{1}{4\pi^2 f^2 L_2} = \frac{1}{4 \cdot 3,14^2 \cdot 66000^2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-6}} = 3,63мкФ.$$

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Фролов В.Я.* Силовая электроника: учеб. пособие / В.Я. Фролов, С.Г. Смородинов, С.Г. Зверев. - СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2011. - С. 91-100.
2. *Herasymenko P.Yu.* A transistor resonant voltage inverter with pulse density modulation for induction heating equipment // Technical Electrodynamics. - 2015. - №6 (November / December). - P. 24-28.
3. *Силкин Е.* Регулируемые согласованные преобразователи частоты с неявно выраженным звеном постоянного тока и резонансной коммутацией в установках индукционного нагрева малой и средней мощности // Силовая электроника. - 2008.- №1. -С. 82-86.
4. *Kelemen A.* Induction-heating voltage inverter with hybrid LLC resonant load, the DQ model / A. Klemen, K. Nimrod // Pollack Periodica. - 2007. - №2(1) (April). - P. 27-37.
5. *Васильев А.С.* Транзисторные преобразователи для индукционных нагревателей / А.С. Васильев, С.В. Взлиев // Индукционный нагрев. - 2008. - №4. - С. 14-20.
6. *Силкин Е.* Независимые инверторы напряжения с квазирезонансной коммутацией для высокочастотных применений // Силовая электроника. - 2009. - №3. - С. 56-60.
7. *Popescu M.* Analysis and optimal design of matching inductance for induction heating system with voltage inverter / M. Popescu, A. Bitoleanu, M. Dobriceanu // 8th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE). - 2013.

УДК 621.793: 620.199: 001.18

ХОХЛОВА Е.Д.
Санкт-Петербургский горный университет

ОЦЕНКА РЕСУРСА КРИОГЕННЫХ ГАЗИФИКАТОРОВ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ НА ОСНОВЕ МНОГОУРОВНЕВОЙ МОДЕЛИ ВРЕМЕННЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПАРАМЕТРОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Аннотация. Показана оптимизация оценки остаточного ресурса криогенного газификатора, использующегося для транспортировки сжиженного природного газа, основанная наэффективном информационно-кинетическом подходе к акустико-эмиссионному диагностированию. Методологической базой являетсямногоуровневая модель, построенная на принципах информационной оптимизации и опирающаяся на микромеханику разрушения, кинетическую концепцию прочности и моделирование временных зависимостей параметров акустической эмиссии (АЭ).

Ключевые слова: акустическая эмиссия, оценка ресурса, криогенный газификатор, прогнозирование, неразрушающий контроль.

KHOKHLOVA E.D.
Saint Petersburg Mining University

RESOURCE ESTIMATION OF CRYOGENIC GASIFIERS BY ACOUSTIC EMISSION METHOD BASED ON A MULTI- LEVEL MODEL OF TIME DEPENDENCIES OF ACOUSTIC EMISSION PARAMETERS

Abstract. Optimization of estimation of the residual resource of a cryogenic gasifier used for transportation of liquefied natural gas is shown. It based on an effective information-kinetic approach to acoustic-emission diagnostics. The methodological basis is a multi-level model relying on the principles of information optimization and based on the micromechanics of fracture, the kinetic concept of strength and modeling of time dependencies of acoustic emission parameters (AE).

Keywords: acoustic emission, resource estimation, cryogenic gasifier, forecasting, non-destructive testing.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день природного газ является наиболее экологически чистым и экономически эффективным энергоресурсом, а также комплексным сырьем для многих отраслей [1-2], а потому имеет значимую роль в энергетике и международной торговле. Транспортировка природного газа с месторождений осуществляется в сжиженном виде в криогенных газификаторах, что является наиболее безопасным и эффективным способом доставки ценного газа в пункты дальнейшей переработки [3]. Таким образом, транспортировка природного газа для его дальнейшего использования связана с необходимостью контроля состояния криогенных газификаторов, их качественной диагностики и точной оценки ресурса для обеспечения безопасной эксплуатации.

Криогенные газификаторысостоят из двух частей: наружного и внутреннего сосудов. Основному контролю подвержен внутренний сосуд, в котором и содержится сжиженный газ. Он вакуумно-изолирован внешним сосудом. Так как конструкция

обеспечивает полную герметичность, установка датчика на внутренний сосуд без разрушения внешнего невозможна, что делает его сложно контролируемым объектом [4]. При этом предпочтительным к использованию является метод акустической эмиссии за счет возможности регистрации сигнала посредством установки АЭ преобразователей к доступной части патрубков, исходящим из контролируемого внутреннего сосуда и служащих акустическими волноводами [5]. Поскольку патрубки присоединяются к сосуду в разных точках и имеют различную протяжённость, возникает проблема расшифровки данных, полученных в условиях существенного влияния дестабилизирующих факторов, когда традиционные критерии опасности АЭ, основанные на регистрации числа импульсов или амплитуды сигналов АЭ, не позволяют достоверно диагностировать состояние внутреннего сосуда [6-8]. В связи с этим актуальной является задача разработки методики АЭ диагностирования, устойчивой к влиянию дестабилизирующих факторов и обеспечивающей оценку остаточного ресурса криогенного газификатора.

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-КИНЕТИЧЕСКОГО МЕТОДА АЭ

В качестве методологической базы решения проблемы предлагается информационно-кинетический подход к акустико-эмиссионному диагностированию, согласно которому ресурс длительно нагруженных материалов определяется коэффициентами многоуровневой модели временных зависимостей параметров генерируемой материалом сосуда акустической эмиссии, характеризующими интенсивность разрушения отобранных по прочностным критериям представительных структурных элементов, представляющих прочностные свойства изделия. Информативным является время t регистрации момента разрушения этих элементов. Сведения о количестве разрушенных структурных элементов несет акустико-эмиссионный параметр ξ. Временная зависимость $\xi(t)$ в условиях прочностной неоднородности материала имеет вид многоуровневой модели:

$$\xi(t) = k_{AE} C_0 \int_{\omega_0}^{\omega_0+\Delta\omega} \Psi(\omega) \left\{1 - \exp\left[-\int_0^t dt`/\Theta\big(U_0, \omega(t`)\big)\right]\right\} d\omega, \quad (1)$$

где k_{AE} – акустико-эмиссионный коэффициент (АЭК), ответственный за «метрологическое» преобразование концентрации рассеяно образующихся в материале разрывов структурных элементов в параметр ξ [9]. АЭК наиболее подвержен влиянию факторов, дестабилизирующих связь концентрации микротрещин и ξ.. Его величина:

$$k_{AE} = V \iiint_{\Delta t, f, u} \Phi(\Delta t, f, u) du df d\Delta t, \quad (2)$$

где V – контролируемый объем материала; $\Phi(\Delta t,f,u)$ – функция плотности распределения сигналов АЭ по длительности пауз Δt, частоте f и амплитуде u; C_0 – начальная концентрация структурных элементов; θ – время разрушения микроэлемента, задаваемое формулой Журкова:

$$\Theta(t) = \tau_0 exp\left[\frac{(U_0 - \gamma\sigma(t))}{KT}\right],$$

где U_0 – энергия активации процесса разрушения, γ – активационный объем; K – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура; ω(t) = γσ(t)/KT – параметр прочностного состояния структурного микроэлемента материала объекта; Ψ(ω) – моделирующая прочностную неоднородность функция плотности распределения параметра ω по структурным элементам контролируемого объема V материала; τ_0 и U_0 определяются характеристиками межатомного взаимодействия структурного элемента и не зависят от состояния структуры, что придаёт им свойство универсальности. Параметр γ с напряжениями σ отражает прочностную индивидуальность структурного элемента.

Стабильность АЭК (2) определяет условия метрологического подобия концентрации микротрещин и ξ, то есть метрологической однородности АЭ контроля, а экспериментальное разделение мелкодисперсного разрушения на неоднородный и однородный этапы по кинетическому признаку из (1) позволяет выделить информативный по отношению к ресурсу временной интервал наблюдения [10]. Временная зависимость числа импульсов АЭ на однородном этапе разрушения:

$$N_{\Sigma\text{однор}}(t) = k_{AE} C_0 KT exp[(\gamma\dot{\sigma}t - U_0)/KT)]/(\tau_0\gamma\dot{\sigma}).$$

Вытекающие из неё информативные АЭ показатели прочности, свободные от АЭК и потому устойчивые к влиянию аддитивных помех, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Многомодельные концентрационно-кинетические АЭ-показатели прочности

Показатель	Микромодель	Нано-модель	Макромодель	Размерность
X_{AE}	$d\ln\xi / dt$	$\gamma\dot{\sigma} / KT$	-	C^{-1}
Y_{AE}	$d\ln\xi / d\sigma$	γ / KT	$d\ln N_c / d\sigma$	$Па^{-1}$
kY_{AE}	$d\ln\xi / dF$	$k\gamma / KT$	$d\ln N_c / dF$	H^{-1}
W_{AE}	$d\ln\xi / dK_н$	$\omega = \gamma\sigma / KT$	$\ln N_B - \ln N_{сраб}$	-

где N_c, N_B, $N_{сраб}$ - параметры кривой усталости материала [11].

При линейном суммирования повреждений на этапе однородного разрушения, можно осуществлять прогноз на основе линейной экстраполяции.

Ресурс объекта контроля:

$$N_C \cong N_B / exp W_{AE}.$$

При постоянных температуре T и периоде $\tau_{цикл}$ циклического нагружения число N_C циклов до разрушения:

$$N_C = \theta/\tau_{цикл} = \tau_0/\tau_{цикл} \exp[(U_0 - \gamma\sigma)/KT],$$

при σ = 0 величина $N_C = N_B$.

$$N_C \cong A/N_{\Sigma однор}.$$

ПРИМЕР ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Рассмотрим применение подхода на диагностике внутреннего корпуса криогенного газификатора. Результаты регистрации АЭ, полученные при его пневмо-нагружении представлены на рис.1-4.

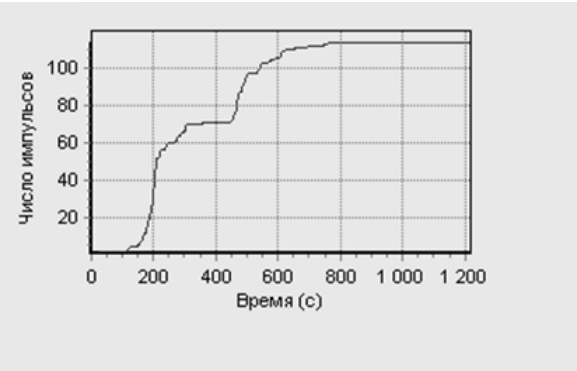


Рисунок 1 – Временная зависимость числа импульсов АЭ

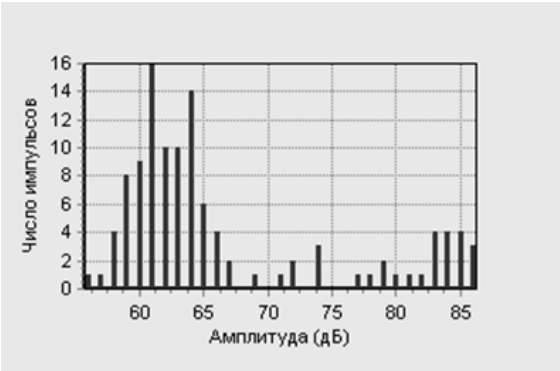


Рисунок 2 – Амплитудное распределение сигналов АЭ

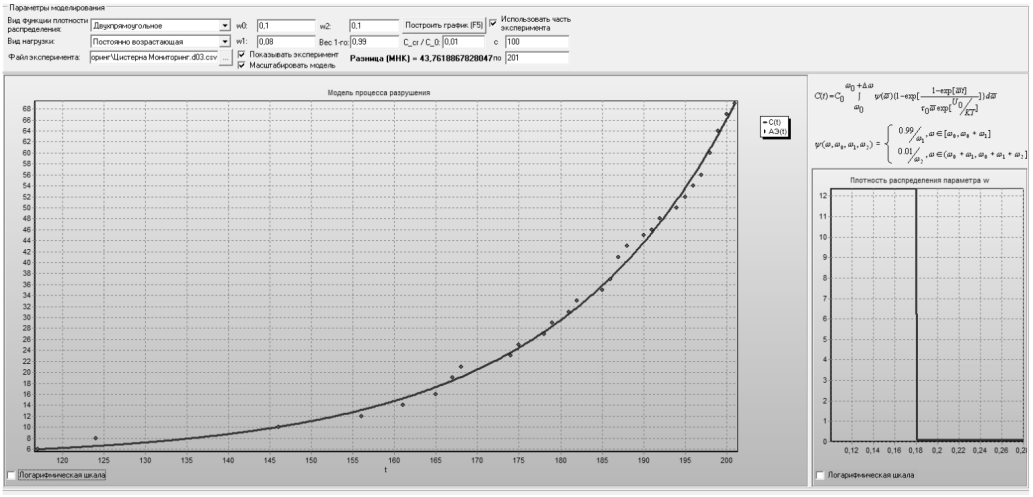


Рисунок 3 - Сопоставление результатов регистрации и имитационного компьютерного моделирования

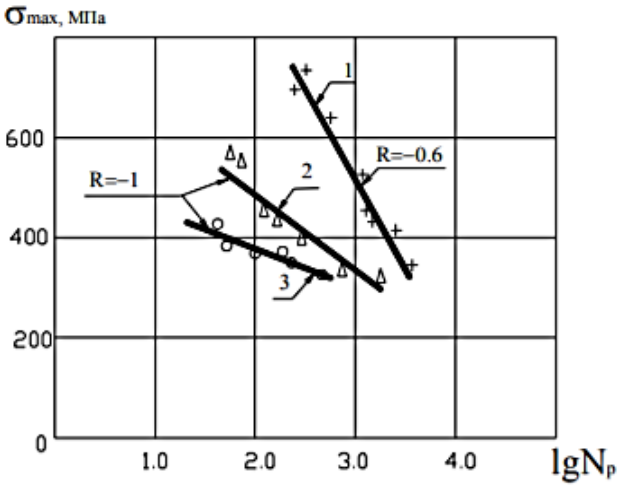


Рисунок 4 - Кривые малоцикловой усталости стали 12Х18Н10Т:
1, 2 – при $T = 273$ К, 3 - при $T = 673$ К [12], $\mathrm{dlg}N_B \approx 2$ - метрологический разброс величины $\lg N_B$

Рабочее давление составляло 0,35 МПа (3,5 кгс/см^2), испытательное давление 0,38 МПа (3,8 кгс/см^2); скорость нагружения 0,0441 МПа/мин (0,441 кгс/(см^{2}мин)) с 5-минутной выдержкой давления 0,3 МПа. Использовалась АЭ система СДАЭ-16 и преобразователи П113 с диапазоном частот 20-200 кГц.

Обработка результатов регистрации сигналов АЭ позволила отнести разрушение к мелкодисперсному однородному этапу и получить необходимые (табл. 2) для расчёта ресурса значения концентрационно-кинетических показателей $Y_{AE} = 0{,}003 \div 0{,}01$ МПа$^{-1}$, $W_{AE} = 2{,}5 \div 6$.

Пример: при Р = 1,8 кгс/см^2 на 150-ой секунде было зарегистрировано $N_\Sigma = 10$ сигналов, при $P = 3$ кгс/см^2 на 200-ой секунде $N_\Sigma = 67$:

$$W_{AE} = \frac{dlnN_\Sigma}{dK_\text{Н}} = \Delta lnN_\Sigma \cdot \frac{P_\text{раб}}{\Delta P} = ln6{,}7 \cdot \frac{3{,}5}{3 - 1{,}8} = 5{,}6,$$

что при сопоставлении с допустимым значением:

$$[W_{AE}] = Y_R[\sigma] = 1{,}8,$$

где $Y_R = 0{,}018$ МПа$^{-1}$, [σ] =100 МПа определяло источник АЭ, как критически активный III-его класса. Материал корпуса - сталь 12Х18Н10Т, его параметр кривых усталости

$N_B \approx 10^{4,5} \div 10^{6,5}$ (справочные данные), ресурс при рабочем давлении:

$$N_c = \frac{10^{5,5}}{exp5,6} = 1169\ (117 \div 11693)$$ циклов.

Остаточный ресурс:

$$Nост = N_C - Nотр,$$

где *Nотр* - отработанный ресурс. При *Nот р*= 126 (по данным отдела эксплуатации) минимальный вероятный ресурс может быть исчерпан.

Низкое значение ресурса говорит о необходимости снижения рабочего давления в $\frac{W_{AE}}{[W_{AE}]} = \frac{5,6}{1,8} \approx 3$ раза, что повысит ресурс примерно в 20 раз.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данные расчеты являются важным элементом оптимизации оценки состояния сложно контролируемых объектов. Используя приведенную методику, можно решить задачу по нахождению остаточного ресурса криогенного газификатора, необходимого для обеспечения безопасной транспортировки полезных ископаемых.

Таким образом, применение информационно-кинетического подхода АЭ позволяет снизить негативное влияние факторов различного масштабного уровня на оценку результатов регистрации сигналов АЭ, что оптимизирует безальтернативную акустико-эмиссионную диагностику криогенных газификаторов.

Данная работа выполнена под руководством профессора Носова В.В.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. The Arctic // Природные ресурсы.
https://ru.arctic.ru/resources/ (дата обращения: 16.01.2020).
2. *Исмаилова Ш.Т.* Стратегические приоритеты освоения малых месторождений природного газа / Ш.Т. Исмаилова, С.А. Казиев // Вестник дагестанского государственного технического университета. – 2012. - № 1 (24). – С. 90-96.
3. *Матвиишин Д.А.* Экономическая конъюнктура направлений транспортировки сжиженного природного газа в Арктике // Север и Арктика в новой парадигме мирового развития. – 2016. – С. 96-98.
4. ГОСТ Р 54892-2012 Монтаж установок разделения воздуха и другого криогенного оборудования. Общие положения от 27.12.02N 184: дата введения 2012-06-01.
URL: http://www.techhap.ru/gost/285640.html (дата обращения: 10.01.2020).
5. *Гневко А.И.* Оценка технического состояния объектов, работающих под давлением, при ограниченном доступе к поверхности с использованием метода акустической эмиссии / А.И. Гневко, О.Е. Зубов, С.В. Гразион // Научный вестник московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2015. - 217 (7). – С. 27-35.
6. *Ivanov V.* The prime problems of acoustic emission diagnostics of technical device sand constructions // 10th European Conference of Non-Destructive Testing, Moscow 2010, June 7. – 2010. – 11.
7. РД 26.260.004-91 Методические указания. Прогнозирование остаточного ресурса оборудования.
URL: https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4294847/4294847460.htm (дата обращения: 10.01.2020).
8. *Трифонов А.* Особенности диагностирования криогенных газификаторов / А. Трифонов, Р. Комиссаров, Р. Гилязов // Технадзор. – 2015. - 10 (107). – С. 206-207.
9. *Nosov V.V.* Control of inhomogeneous materials strength by method of acoustic emission / Journal of Mining Institute. - 2017. - Vol. 226. - P. 469-479.

10. *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. - 2(219). - С. 182-190.
11. *Носов В.В*. Контроль прочности неоднородных материалов методом акустической эмиссии // Записки Горного института. - 2017. - Т. 226. - С. 469-479.
12. *Айнабеков А.И.* Инженерные расчеты конструктивных элементов / А.И. Айнабеков, Т.П. Раимбердиев, А.А. Джумабаев // Вестник КазНТУ. – 2006. – №5. URL:http://e-lib.kazntu.kz/sites/default/files/articles/ainabekov_2006_5.pdf).

УДК 622.285

ЦЫУЛЕВА К.Г.,
ГАРАЩЕНКО Ж.М.
Санкт-Петербургский горный университет

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ СОЗДАНИЯ ВЫЕМОЧНЫХ МОДУЛЕЙ ДЛЯ ОТРАБОТКИ ПЛАСТОВ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ

Аннотация. В статье рассматривается возможность применения выемочных модулей фронтальных модульных комплексов для отработки пластов средней мощности.

Ключевые слова: шахта; уголь; добыча; выемочный модуль; механизированная крепь; комплекс.

TSYULEVA K.G.,
GARASHCHENKO ZH.M.
Saint-Petersburg Mining University

THE FEASIBILITY OF ESTABLISHING A COAL-MINING MODULES FOR MINING OF SEAMS WITH AVERAGE POWER

Abstract. The article considers the possibility of using coal-mining modules of front-end modular complexes for working out medium-power layers.

Keywords: mine; coal; mining; dredging module; mechanized support; complex.

Современная техника для добычи угля (комбайновые и струговые очистные механизированные комплексы) в благоприятных горно-геологических условиях обеспечивает довольно высокие нагрузки на забой [1, 2]. Однако в сложных горно-геологических условиях, в которых сосредоточены наибольшие запасы углей, интенсивность и устойчивость технологического процесса добычи значительно снижаются [3-5]. Поэтому большая часть этих запасов не извлекается.

Одним из возможных путей решения может быть применение избирательных способов отделения угля от массива, осуществляемых унифицированными выемочными модулями (УВМ) [6-8], которые могут работать в составе фронтальных модульных комплексов как в длинных, так и в коротких забоях [9], например, при отработке целиков и других участков с ограниченными запасами.

Избирательный способ отделения угля от массива, с учетом критериев эффективности, может обеспечивать отделение угля наиболее целесообразным образом по направлению наименьшей прочности с учетом слоистости и трещиноватости массива, отжима и структуры пласта. В этом случае при заданной производительности могут быть обеспечены требуемый гранулометрический состав, наименьшие удельный расход энергии и объём образующейся в процессе взрывоопасной пыли.

На основе анализа известных фронтально-избирательных способов отделения угля от массива (СОУМ) УВМ [10-12] выделим два основных способа для отработки пластов с явно выраженной анизотропией прочностных свойств.

СОУМ № 1 (рис. 1, *а*): фронтальный с одновременной отработкой лавы локальными забоями l_L параллельными заходками с разрушением массива забоя отдельными сколами (срезами) в направлении преобладающей трещиноватости с ослаблением угольного массива подрезной щелью $H_щ$ и сколом целика у кровли $H_{ск}$. Этот способ целесообразно применять при значительной дезинтеграции призабойной

части массива трещиноватостью под углом φ к линии забоя, отжимом и слоистостью. В этом случае возможны сколы с толщиной до 30 см, а очередность устанавливается из условий максимального ослабления последующих слоев пласта. Здесь t – шаг сколов.

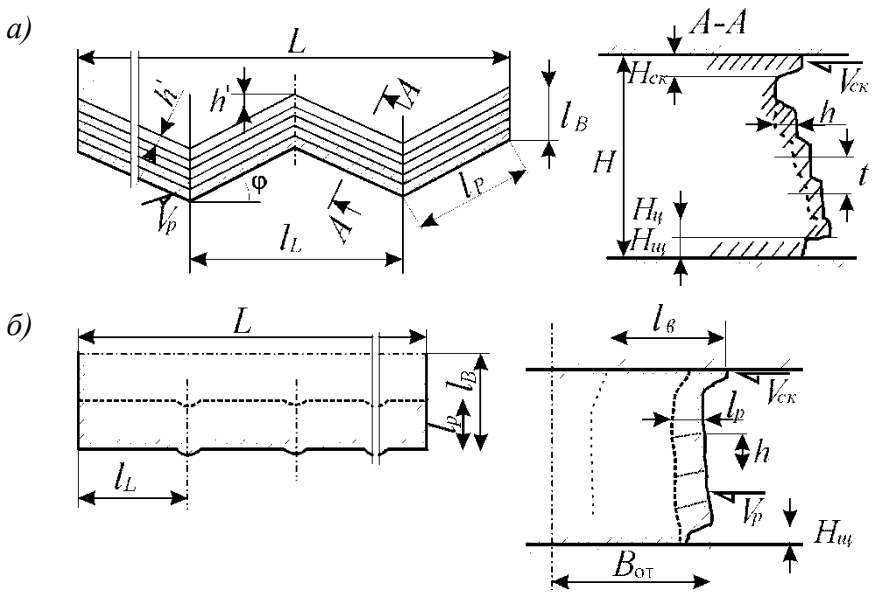


Рисунок 1 - Фронтально-избирательные способы отделения угля от массива:
$V_р$ – направление движения резцовой коронки при осуществлении сколов;
$V_{ск}$ – направление движения скалывателя секции крепи

СОУМ № 2 (рис. 1, *б*): фронтальный с одновременной отработкой лавы параллельными заходками и разрушением массива локального забоя l_L избирательными сколами l_p по плоскостям, разделяющим слои пласта одновременно по всей ширине локального забоя в направлении подвигания фронта лавы. Последовательность сколов по мощности пласта H 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 конвейерострругом, регулируемым по границе «почва-пласт».

Для более интенсивного роста производительности комплекса с увеличением мощности пласта целесообразно использовать сменные исполнительные органы с увеличивающейся шириной среза [13, 14].

Производительность комплекса складывается из производительностей выемочных модулей с учетом времени и последовательности выполнения основных и вспомогательных операций за цикл работы модулей и комплекса [15].

Техническая производительности выемочного модуля и фронтального модульного комплекса может быть определена по формулам соответственно (1) и (2):

$$q_м = l_L \cdot l_p \cdot H \cdot \gamma / T_ц \; ; \qquad (1)$$

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

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.

Как видно из формулы (1), зависимость производительности комплекса от длины лавы, при прочих равных условиях, линейная, так как с увеличением длины лавы пропорционально увеличивается количество выемочных модулей без изменения технологии работы комплекса.

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

– 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.

Избирательность и селективность могут стать особенностью технологии работы адаптивных очистных механизированных комплексов ближайшего будущего. Выемочные модули фронтальных комплексов, осуществляющие избирательные способы отделения угля от массива, могут обеспечить:

– повышение коэффициента извлекаемости запасов угольных месторождений;

– снижение удельных затрат энергии на отделение полезного ископаемого от массива;

– повышение качества угля по гранулометрическому составу;

– существенное повышение производительности;

– более безопасное ведение очистных работ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Peng S.S.* Longwall Mining, 2nd edition, October 2006. – 621 p.

2. *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 трудов научно-практической конференции. – СПб.: СПГУ, 2017. − С. 84-89.

3. *Stebnev A.V.* Analysis of operation of powered longwall systems in mines of SUEK-Kuzbass / A.V. Stebnev et al. // Eurasian mining. - 2017. - 2. – P. 28-32.

4. *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.

5. *Gabov V.V.* Energy-saving modular units for selective coal cutting / V.V. Gabov, D.A. Zadkov // Eurasian mining. – 2016. - 1. - P. 37-40.

6. *Габов В.В.* Развитие способов отделения угля от массива добычными машинами /

В.В. Габов [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2005. - № 7. - С. 297-302.
7. *Габов В.В.* Актуальность избирательной добычи угля / В.В. Габов, Д.А. Задков, А.С. Елихин // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности. Сборник трудов XVII Международной научно-технической конференции. Под общей редакцией Ю.А. Лагуновой. - 2019. - С. 42-46.
8. *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. Отв. ред. В.В. Габов, Н.С. Голиков. - 2016. - С. 12-15.
9. *Габов В.В.* Актуальность и перспективы применения очистных и проходческих модульных комплексов / В.В. Габов [и др.] // Народное хозяйство Республики Коми. - 2011. - № 1. - С. 59.
10. *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. - № 6. - С. 147-149.
11. *Задков Д.А.* Способ отделения угля от массива при отработке трещиновато-слоистых угольных пластов / Д.А. Задков [и др.] // Горное оборудование и электромеханика. - 2012. - № 2. - С. 30-33.
12. *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. - № S48. - С. 387-397.
13. *Габов В.В.* Обоснование структуры и параметров модуля для добычи угля / В.В. Габов [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). -2019. - № S15. - С. 3-12.
14. *Габов В.В.* Выбор структуры и параметров выемочных модулей фронтальных комплексов / В.В. Габов, А.П. Докукин, Д.А. Задков // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2002. - № 10. - С. 222-223.
15. *Габов В.В.* Оценка производительности фронтальных модульных комплексов избирательного действия / В.В. Габов [и др.] // Горный информационно аналитический бюллетень. - 2014. - № 10. – С. 129-133.

УДК 622.015

ЧИШЕГОРОВ Д.А.
Санкт-петербургский горный университет

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭКСКАВАТОРА ЭКГ-12К

Аннотация. Обосновываются причины необходимости внедрения технологии «цифровой двойник» в проектирование рабочего оборудования экскаватора. Внедрение будет иметь большое значение в горном машиностроении. Внедрение и развитие технологий «цифрового двойника» необходимо на стадии проектирования новых моделей.Цифровой двойник позволяет заблаговременно оптимизировать конструкцию по выбранным критериям.Общим ориентиром при разработке цифрового двойника рабочего оборудования служит минимальное участие человека в процессе. В статье рассмотрен пример моделирования распределения силовых потоков по рабочему оборудованию.

Ключевые слова: карьерный экскаватор, цифровой двойник, рабочее оборудование, оптимизация нагрузок, эффективность эксплуатации.

CHISHEGOROV D.A.
Saint-Petersburg Mining University

DIGITAL TWIN OF WORKING EQUIPMENT OF MINING EXCAVATOR EKG-12K

Abstract: The reasons for the necessity to implement the technology of "digital twin" in the design of the working equipment of the excavator was substantiated. The implementation will have a great importance in mining engineering.The introduction and development of digital twin technology is necessary at the design stage of new models.The digital twin allows you to optimize the design in advance according to the selected criteria.A common guideline in the development of a digital twin of working equipment is the minimal participation of a person in the process.

Keywords: mining excavator, Digital Twin Instance, load optimization, operational efficiency.

Цифровым двойником называют виртуальный прототип реального физического изделия, группы изделий или процесса, суть которого заключается в сборе цифровой информации, при его функционировании, в качестве базовой для создания симуляционной модели процесса. При этом, цифровой двойник не ограничивается сбором данных, полученных на стадии разработки и изготовления продукта. Он продолжает пополнение базы данных в течение всего жизненного цикла объекта.

Технология даёт возможность моделировать самые разные ситуации, которые могут возникать на производстве [1, 2, 3]. Цифровой двойник позволяет подбирать реальные сценарии поведения объекта в конкретных ситуациях, чтобы избежать сбоев и опасных аварийных ситуаций в реальности.

Проблема совершенствования рабочего оборудования карьерного экскаватора является чрезвычайно важной для горной промышленности.С внедрением на многих горнодобывающих предприятий современных карьерных экскаваторов появились исследованиякасающиеся модернизации рабочего оборудования [4, 5, 6]. В них

обоснована необходимостьприменения технологии «цифровой двойник» в проектирование рабочего оборудования экскаватора.

Некоторые эксперты выделяют три типа двойников: цифровые двойники-прототипы (Digital Twin Prototype, DTP), цифровые двойники-экземпляры (Digital Twin Instance, DTI) и агрегированные двойники (Digital Twin Aggregate, DTA) [7].

Цифровые двойники являются инновационной технологией на основе облачных хранилищ, Интернета Вещей и машинного обучения.

Цифровой двойник дает сервисным подразделениям широкий спектр возможностей для анализа текущего состояния изделия, планирования мероприятий по техническому обслуживанию, решения актуальных задач и проблем горного машиностроения.

Имея виртуальную копию объекта, обеспечивают ее работоспособность и динамичность [8, 9]. При разработке ПО для цифровых моделей изначально закладывается минимальное участие человека в процессе, в чем состоит главное отличие цифрового двойника от обыкновенной трехмерной визуализации. Основа данного этапа – обучение и последующее самообучение искусственного интеллекта выполнять поставленные задачи. Для построения таких методов используются средства математической статистики, численных методов, методов оптимизации, теории вероятностей, теории графов, различные техники работы с данными в цифровой форме.

При разработке цифрового двойника рабочего оборудования экскаватора быладанаоценка силовых потоков рабочего оборудования. При реальном копании на любой из элементов рабочего оборудования экскаватора действует комбинация различных нагрузок, каждая из которых достигает максимума при различных положениях ковша в забое. В связи с этим рассматривались сочетания нагрузок, приводящих к максимальнойсиловой загрузкеоцениваемого элемента (экстремальный случай нагружения), рассматриваются случаи копания при положениях рукояти с различными углами наклона к горизонту.

Положение 1 – начало копания. Ковш порожний максимально приближен к гусеницам.

Положение 2 – ось рукояти перпендикулярна оси стрелы (45° наклон к горизонту).

Положение 3 – конец копания, ковш с грунтом, зуб на уровне напорного вала (3° наклон к горизонту).

Положение 4 - конец копания, ковш с грунтом, рукоять горизонтальна, подъемный канат перпендикулярен оси рукояти.

Рассмотрены 3 варианта установки ковша (рис. 1):

Вариант 1 – стандартная установка ковша.

Вариант 2 – установка ковша с углом наклона, относительно рукояти +15°.

Вариант 3 – установка ковша с углом наклона, относительно рукояти -15°.

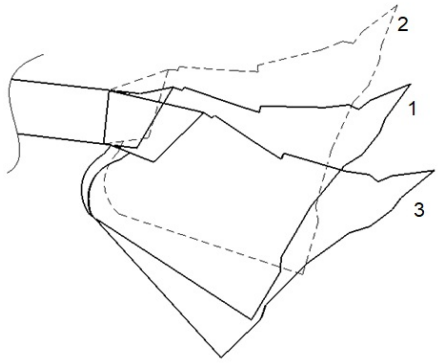


Рисунок 1 - Варианты установки ковша

Для решения поставленной задачи была применена программа KOMPAS. Расчет выполняется последовательным рассмотрением равновесия узлов рабочего оборудования, с учетом реакций.

При определениивеличины усилия, действующего на зуб ковша, уравновешивающее усилие прикладывалось в точке набегания напорного каната на блок. Также были приняты следующие допущения:

- узлы рабочего оборудования рассматриваются как сосредоточенные массы. Силы веса приложены в центрах масс соответствующих узлов.
- нагрузки для различных случаев копания и положения рукояти оцениваются интегрально и укрупненно;
- узлы рабочего оборудования – абсолютножесткие тела.

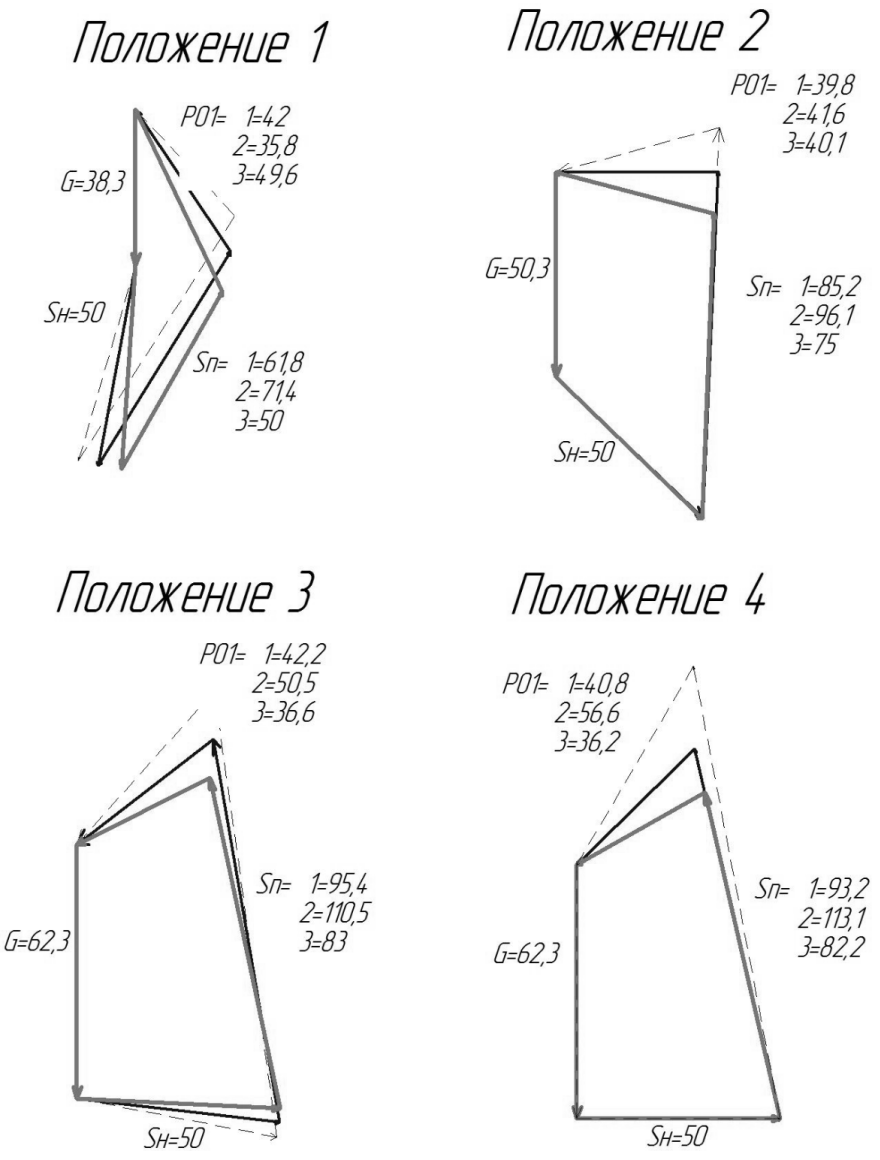


Рисунок 2 - Схемы силовой загрузки

Схемы загрузки зубьев ковша представлены на рис. 2. Высчитаны длины неизвестных векторов.

Анализ результатов проведенной оценки показал, что лучшим из рассмотренных трех вариантов является третий вариант - установка ковша с углом наклона, относительно рукояти -15°. Для этого варианта усилие подъема, как и усилие резанья заметно меньше.Это благоприятно влияет на силовую загрузку рабочего оборудования.

Результаты по тем или иным этапам создания цифрового двойника рабочего оборудования карьерного экскаватора следует интегрировать в информационно-диагностическую систему машины [10].

Информационно-диагностическая система (ИДС) интегрирована в НКУ по системе ТПД для карьерных экскаваторов ЭКГ-10 и ЭКГ-12К. ИДС предназначена для обеспечения контроля технического и технологического состояния экскаватора, сбора, обработки, хранения и отображения информации, а также проведения добросовестного технического обслуживания [11, 12].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Knyazkina V.I.* About possibility of immediate evaluation of technical condition of mining equipment using signal value of acoustic emission friction / V.I. Knyazkina, K.A. Safronchuk and S.L. Ivanov / IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – 560. – 012068.
2. *Safronchuk K.A.* Mobile lubrication and filling units to reduce mining machines and equipment downtime when providing maintenance / K.A. Safronchuk, V.I. Knyazkina and S.L. Ivanov // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – 560. – 012088.
3. *Stebnev A.V.* Analysis of operation of powered longwall systems in mines of SUEK-Kuzbass / A.V. Stebnev et al. // Eurasian mining. - 2017. - 2. – P. 28-32.
4. *Иванова П.В.* Анализ структуры и надежности современного парка карьерных экскаваторов / П.В. Иванова [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. - №7. - С. 51-58.
5. *Князькина В.И.* Диагностика и продление срока службы трансмиссий карьерных экскаваторов / В.И. Князькина, С.Л. Иванов // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. - 2019. - Т. 25. № 2. - С. 141–148.
6 *Ivanov S.L.* Weather conditions as a factor affecting the performance of modern powerful mining excavators / S.L. Ivanov, P.V. Ivanova and S.U. Kuvshinkin // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – 1399. – 044070.
7. *Ганин А.Р.* Современные инженерные решения и практический опыт эксплуатации карьерных экскаваторов ЭКГ-18Р/20К производства «ИЗ-КАРТЭКС» / А.Р. Ганин, Т.В. Донченко, Д.А. Шибанов // Горное дело. – 2014. - №1(2). – С. 40-47.
8. *Асонов С.А.* Информационно-диагностические средства объективного контроля, как инструмент повышения эффективности эксплуатации добычных горных машин / С.А. Асонов [и др.] // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. - 2015. - № 14. – С. 62-71.
9. *Асонов С.А.* Принципы построения модели технического состояния трансмиссии горной машины при ее эксплуатации / С.А. Ассонов [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. - №3. - С.15-27.
10. Как цифровые двойники помогают российской промышленности. – Rusbase, 2019. URL: https://rb.ru/longread/digital-twin/ (дата обращения: 21.03.2020).
11. Информационно-диагностическая система. URL: https://www.rudoavtomatika.ru/node/27 (дата обращения: 22.03.2020).
12. *Пумпур Е.В.* Оценка факторов влияния на выбор стратегии технического обслуживания экскаваторов / Е.В. Пумпур [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 12 (специальный выпуск 41). – С. 3–19.

УДК 691-419

ШЕВЧЕНКО А.Б.
Санкт-Петербургский горный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ СЕГМЕНТИРОВАННЫХ САМОЗАЦЕПЛЕННЫХ СТРУКТУР

Аннотация. В статье рассматривается эксперимент по определению прочности дорожной одежды, изготовленной по инновационной технологии из остеоморфных блоков, соединённых в единую слоённую конструкцию методом геометрического самозаклинивания. Показано, что использование принципа топологического самозацепления по праву может рассматриваться как средство улучшения эксплуатационных характеристик дорог.

Ключевые слова. транспортная доступность, дорожная одежда, топологическое самозацепление, прочность на изгиб.

SHEVCHENKO A.B.
Saint-Petersburg Mining University

THE RESEARCH OF THE STRENGTH PROPERTIES OF SANDWICH PANELS BASED ON SEGMENTED SELF-LINKED STRUCTURES

Abstract. The article considers the experiment to determine the strength of road wear made using innovative technology from osteomorphic blocks connected into a single puff structure using method of geometric self-jamming. It is shown that the use of the principle of topological self-locking can rightfully be considered as a means of improving the operational characteristics of roads.

Keywords. Transport accessibility, road wear, topological self-locking, bending strength.

Введение.

Актуальность данной работы обусловлена стратегическим значением транспортного освоения северных территорий, которое невозможно представить без быстрого возведения сети автомобильных дорог.

Цель работы. Определение теоретических и практических принципов создания конструкции дорожной одежды на основе сборных самозаклинивающихся блоков для дорог на слабых грунтах.

Задачи:

- поиск оптимальных форм блокирующихся поверхностей объектов для дальнейшего применения их в практике немонолитного, мозаичного формообразования;
- разработка экспериментальных конструкций дорожной одежды с несущим основанием из сборных самозацепленных блоков;
- анализ материалов, применяемых для дорог на слабых грунтах;
-выбор и обоснование материалов, применяемых на слабых грунтах;
- определение в лабораторных условиях предела прочности конструкции на растяжение при изгибе путём разрушающих статических испытаний.

Решение задач позволит:

- полностью отказаться от использования щебёночных слоёв в основаниях дорожных одежд и применения тяжёлой техники для их уплотнения;

- создать жёсткое основание, с целью перераспределения и уменьшения вертикальных напряжений;

- уменьшить толщину дорожной одежды, а как следствие и стоимость дорожного строительства.

Методика проведения эксперимента.

Для проведения экспериментов, на основе сравнительных прочностных расчётов в программе ANSYS была выбрана сборная трёхслойная конструкция из остеоморфных блоков, представленная на рис. 1.

Сравнивалась монолитная конструкция с сегментированными, на основе блоков типа тел Платона и остеоморфных (рис.2)

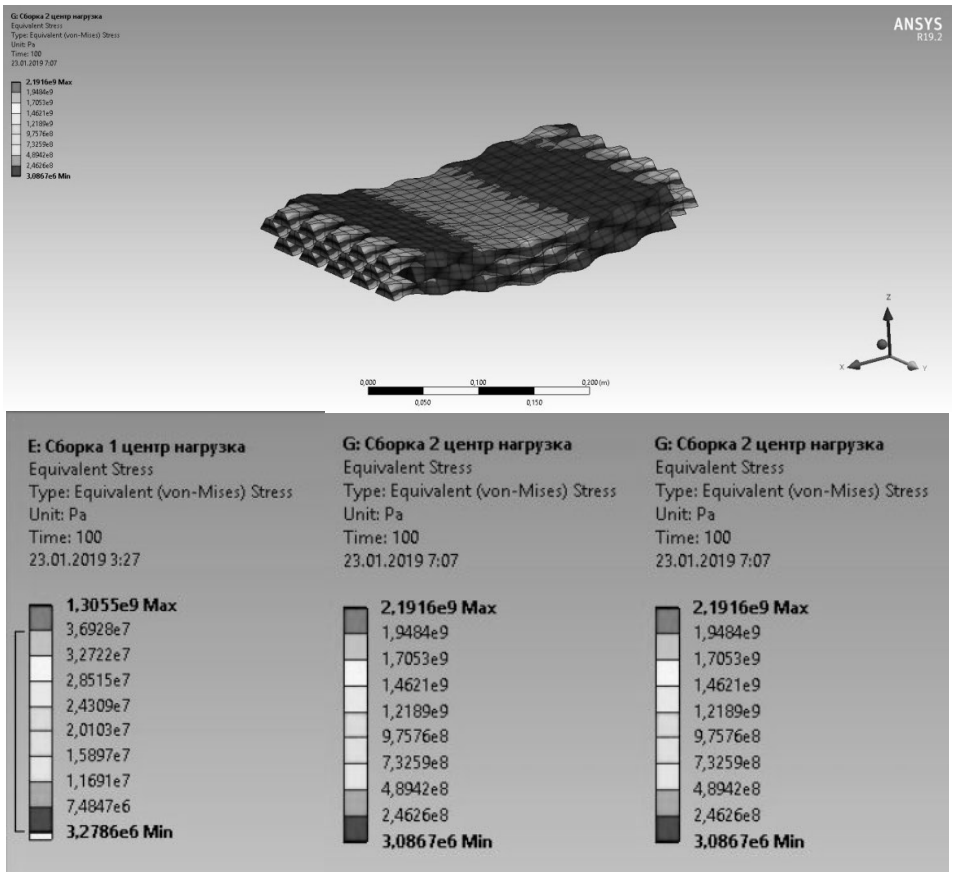
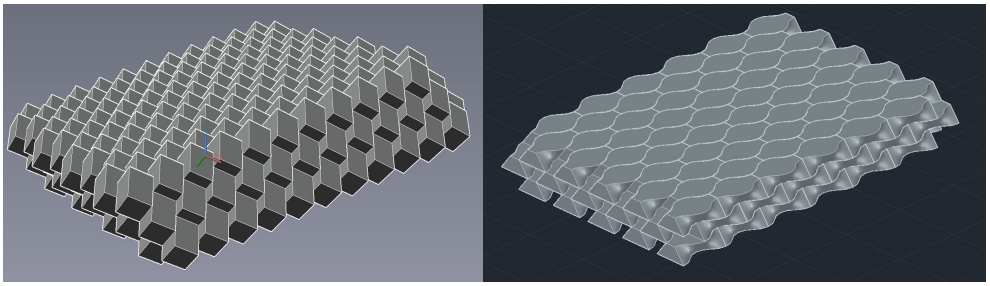


Рисунок 1 - Результаты расчётов при концентрированной нагрузки в центр остеоморфной сборки



а) б)

Рисунок 2 – 3D-модель трёхслойной конструкции из блоков:
а - типа тел Платона; б – остеоморфной формы

Для испытаний в качестве материалов были выбраны: бетон на основе песчано-цементной смеси, соответствующий марке М-300; и пластик марки АВС.

Бетонные пластины и блоки отливались в силиконовые формы и собирались в единую конструкцию вручную без применения соединительных материалов (рис. 3). Блоки из пластика изготавливались методом 3D-печати (рис. 4) и после сборки в единую пластину пропитывались силиконовым гелем, имитирующим пропитку битумом в реальном дорожном строительстве (рис. 5).

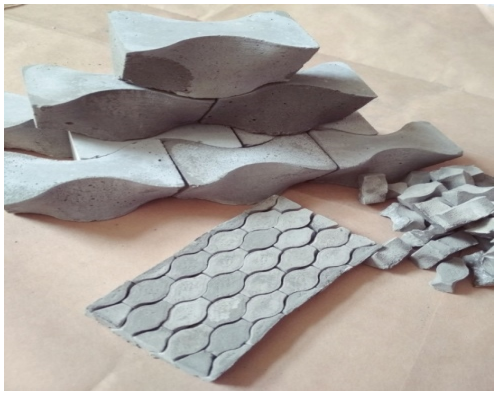


Рисунок 3 – Бетонные остеоморфные блоки

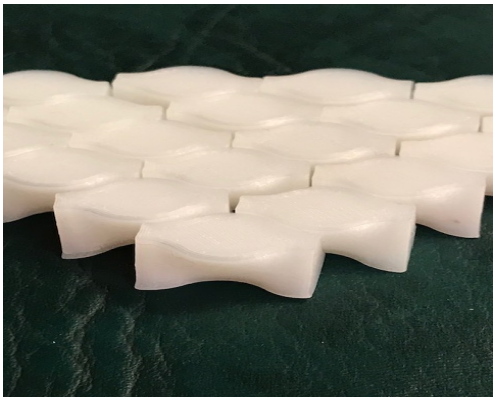


Рисунок 4 - Пластиковые остеоморфные блоки

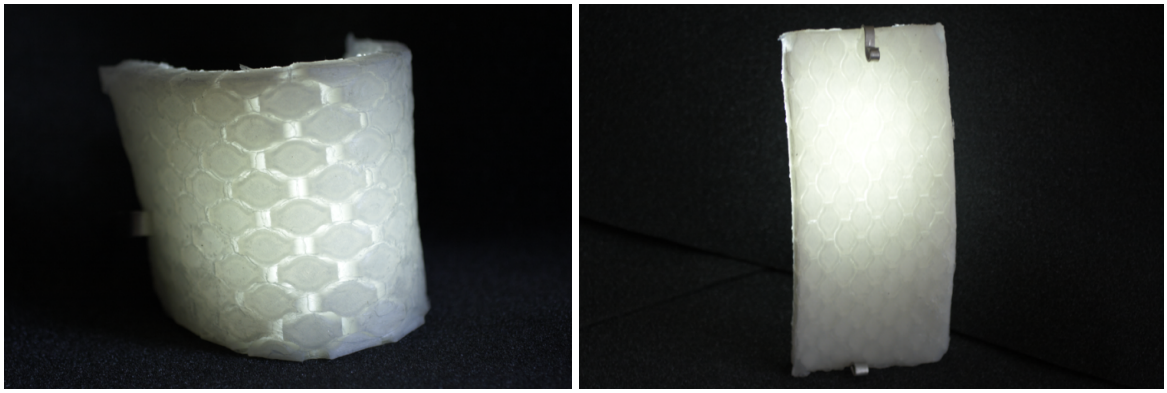


Рисунок 5 – Однослойная пластина из пластиковых блоков

Были изготовлены образцы в виде пластин размером 80×200×40 мм, которые перед испытаниями складывались в трехслойную сэндвич-конструкцию, варианты которой представлены на рис. 6.

1 2

Рисунок 6 – Пластины-образцы:
1 – сегментированная конструкция; 2 – монолитно-сегментированная конструкция

Испытания проводились на универсальной испытательной машине Losenhausenwerk (Германия). На рис. 7 проиллюстрированы нагружение и разрушение опытных пластин.

По результатам испытаний производился расчёт прочности при растяжении на изгиб по формуле:

$$R_{изг} = \frac{F \times l}{b \times h^2}.$$

Рисунок 7 – Нагружение и разрушение опытных пластин

Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты испытаний

Конструкция	**$l_{расч}$, см**	**b, см**	**h, см**	**F, кгс**	**$R_{изг}$, кгс/см²**
Монолитно-сегментированная	10	8	4	250	19,5
Сегментированная	10	8	4	550	42.9

Обсуждение результатов

На основании результатов испытаний можно сделать следующие **выводы:**

- принцип топологического самозацепления можно использовать как средство для улучшения механических свойств конструкции;
- достигнутая на опытных образцах прочность на изгиб при растяжении $R_{изг} = 4{,}3$ МПа соответствует прочности бетонных плит, используемых в дорожном строительстве при проектной прочности $P_{tb} = 4{,}0$ Мпа.

Заключение.

Для дальнейшей реализации концепции необходимо:

- спроектировать и изготовить натурный прототип участка дороги инновационной конструкции;
- провести полигонные испытания в соответствии с требованиями Росавтодора;
- проанализировать результаты и внести необходимые коррективы в конструкцию;
- построить по новой технологии и провести эксплуатационные испытания опытного участка дороги;
- проанализировать результаты и принять решение по полномасштабному применению новой технологии в дорожном строительстве.

Данная работа выполнена под руководством профессора Пиирайнена В.Ю.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Piiraynen V.* New Approch to Read Construction in 0il-Producing Regions of Western Siberia / V. Piiraynen , Y. Estrin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2017. - Vol. 87.

2. https://www.monolithic.org/blogs/presidents-sphere/salt-water-concrete-a-reality.
3. *Dyskin A.* Topological Interlocking Materials / A. Dyskin, Y. Estrin, E. Pasternak // Architectured Materials in Nature and Engineering, Springer Series in Materials Science. – 2019. - 282. – P. 23-49.
4. *Molotnikov A.* Sandwich Panels with a Core Segmented into Topologically Interlocked Elements / A. Molotnikov, R. Gerbrand, O. Bouaziz, Y. Estrin // ADVANCED ENGINEERING MATERIALS. – 2013. – 15(8). - P. 728-731.
5. *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. 480-486.

УДК 621.317

ШИЛОВСКИХ П.Д.
Санкт-Петербургский горный университет

ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ ПОДКЛЮЧЕНИЕ ЦАП

Аннотация. Цифро-аналоговые преобразователи являются интерфейсом между дискретным цифровым миром и аналоговыми сигналами. С развитием технологий передачи информации увеличиваются скорости, а вместе с ними и требования к полосам формируемых сигналов.

Ключевые слова: цифро-аналоговые преобразователи; система генерации сигналов; чередование ЦАПов.

SHILOVSKIKH P.D.
Saint-Petersburg mining university

PARALLEL CONNECTION OF HIGH SPEED DACS

Abstract. Digital to analog converters (DAC) is the interface between the discrete digital world and analog signals. With the development of information transmission technologies, speed increases, as well as the requirements for the generated signal bands.

Keywords: gigital to analog converters; signal generation system; interleaving DACs.

В связи с повсеместным увеличением объёмов передаваемых данных необходимо обеспечивать высокую пропускную способность систем формирования сигналов. Самый производительный генератор сигналов, доступный на сегодня – генератор M8194A Keysight Technologies - со скоростью цифро-аналогового преобразования 120 GSpS. Такая производительность недостижима на стандартных компонентах. Далее будет рассмотрено одно из возможных решений, которое позволит увеличить скорость цифро-аналогового преобразования с использованием стандартных компонентов .

Теорема Котельникова является фундаментальной в области обработки сигналов. Она гласит: «Любую функцию *F(t)* состоящую из частот от 0 до f_1, можно непрерывно передавать с любой точностью при помощи чисел, следующих друг за другом через $1/(2f_1)$ секунд» [1]. Из данной теоремы вытекает то, что любой аналоговый сигнал может быть восстановлен с какой угодно точностью по своим дискретным отсчётам, взятым с частотой дискретизации $f > 2f_c$, где f_c - максимальная частота, которая ограничена спектром реального сигнала [2]. На практике это означает что на ЦАП необходимо подать цифровой сигнал частотой $>2f_c$ для того, чтобы получить аналоговый сигнал частотой f_c.

Для увеличения полосы формируемого сигнала с ограниченной частотой дискретизации отдельного ЦАП необходимо подключить 2 ЦАП параллельно, сигналы тактирования на них должны приходить со смещением на половину периода или 180° (для включения четырех параллельных ЦАП – 90°).

Для реализации высокопроизводительной системы формирования сигналов необходимо разрешить ряд проблем:

1. Сигналы тактирования должны обладать чрезвычайно низким фазовым дрожанием цифрового сигнала данных (джиттером), что достигается использованием сигналов с высокой скоростью нарастания фронтов (прямоугольный сигнал) и

использованием высокостабильного опорного генератора.

2. В проектировании цифровых шин данных необходимо учитывать волновые свойства среды распространения. В качестве линий передачи могут использоваться дифференциальные пары (интерфейс LVDS).

3. Необходимо обеспечивать синхронизацию работы нескольких ЦАП, что достигается за счет выравнивая линии данных по габаритам, амплитуде и фазе. Длину линии следует подбирать таким образом, чтобы она не превышала длину линии «clock» тактового генератора.

4. Для эффективной работы ЦАП необходимо обеспечить питание от малошумящей системы электропитания.

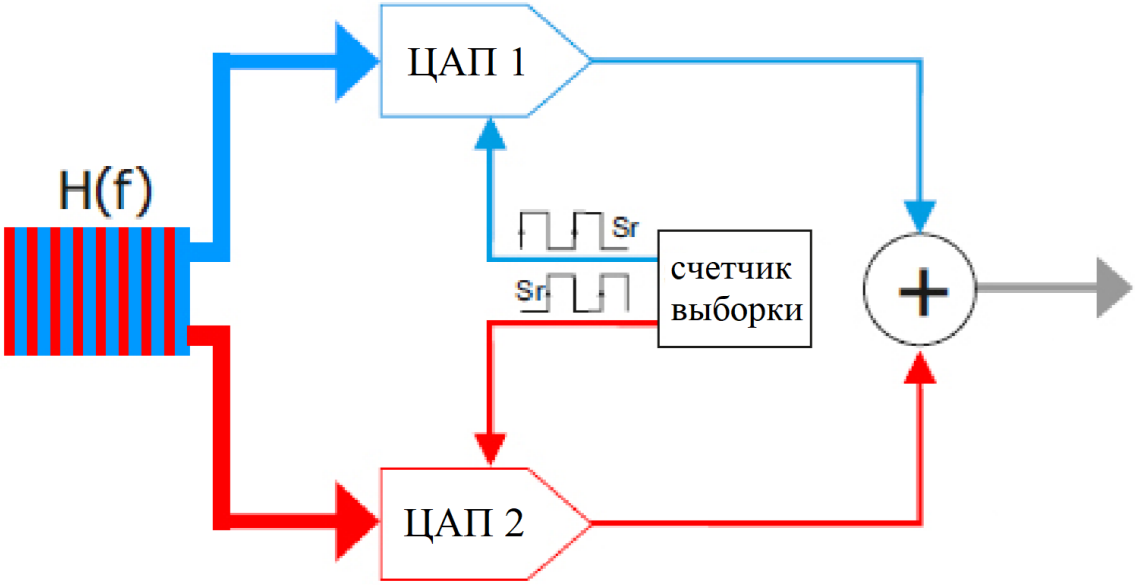


Рисунок 1 – Структурная схема параллельного подключения ЦАП со смещением

На рис. 1 представлена структурная схема параллельного подключения ЦАП со смещением. Принцип работы схемы заключается в следующем: на каждый ЦАП подается тактовый сигнал с частотой дискретизации f, однако, на второй ЦАП этот сигнал подается со смещением по фазе на 180°. Оба ЦАП подключены к дифференциальному дистрибьютору тактовых сигналов, который выполняет функцию синхронизации ЦАП. Таким образом, на выходе после фильтрации формируется аналоговый сигнал, который тактируется с удвоенной частотой. В том случае, если параллельно подключаются 4 ЦАП со смещением в 90°, на выходе сигнал будет тактироваться с частотой в 4 раза больше.

Параметры линий цифровой шины данных (ширина дорожек, зазор, толщина) подбираются таким образом, чтобы обеспечивалось необходимое волновое сопротивление (в LVDS интерфейсе – 100 Ом). При расчете не стоит забывать про технологические возможности, так как толщина и диэлектрическая проницаемость может изменяться в зависимости от использованных материалов опорного слоя и маски, и тем самым влиять на значение волнового сопротивления.

В системе электропитания входное напряжение от внешней сети может регулироваться импульсным преобразователем в промежуточное низковольтное. Напряжения, необходимые для питания подсистемы синхронизации и самих ЦАП, должны формироваться при помощи малошумящих линейных стабилизаторов (Ultralow Noise Linear Regulator).

В работе рассмотрен метод увеличения пропускной способности системы формирования сигналов, основанный на использовании параллельного включения ЦАП

со смещением по фазе. За счёт применения метода возможно достижение сколь угодно высоких скоростей цифро-аналогового преобразования, которое будет ограничено технологическими возможностями синхронизации, минимально-достижимым джиттером и собственными шумами, зависящими от частоты электропитания.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Биккенин Р.Р.* Теория электрической связи / Р.Р. Биккенин, М.Н. Чесноков, 2010.
2. *Гитлиц М.В.* Теоретические основы многоканальной связи / М.В. Гитлиц, А.Ю. Лев, 1985.
3. Tektronix 76W-30631-0 Application notes “High-speed DAC`s”, 2014.
4. *Белицкий А.А.* Универсальный генератор управляющих сигналов на основе микропроцессора ATMEGA8 / А.А. Белицкий, К.А. Антонов, Е.В. Кузьменко // Энергетика и энергосбережение: теория и практика. Материалы III Всероссийской научно-практической конференции. - Кемерово, 2017 - С. 301.
5. *Ридико Л.* DDS: прямой цифровой синтез частоты // Компоненты и технологии. – 2001. -№ 7.
6. *Сергиенко А.Б.* Основы цифровой обработки сигналов. Конспект лекций. – СПб.: СПБГУ «ЛЭТИ», 2019.

УДК 621-05:621.92

ЩЕГЛОВА Р.А.
Санкт-Петербургский горный университет

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ РЕЗЬБОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ БУРОВЫХ ШТАНГ ДЛЯ ВРАЩАТЕЛЬНО-УДАРНОГО СПОСОБА БУРЕНИЯ

Аннотация. В статье обсуждается вопрос возможности применения магнитно-абразивной обработки при повышении качества наружных и внутренних резьбовых поверхностей буровых штанг для вращательно-ударного способа бурения.

Ключевые слова: магнитно-абразивная обработка; финишные операции; шероховатость, микротвердость; резьбовые поверхности буровой штанги; горное машиностроение.

SHCHEGLOVA R.A.
Saint-Petersburg Mining University

ANALYSIS OF THE PROBLEM OF TECHNOLOGICAL QUALITY ASSURANCE OF HIGH- LOADED THREADED SURFACES OF DRILLING RODS FOR ROTARY-IMPACT DRILLING

Abstract. The article discusses the application of magnetic-abrasive machining technology in processing threaded surfaces of drill rods for rotary impact drilling method.

Keywords: magnetic-abrasive finishing; finishing operations; roughness, microhardness; threaded surfaces of the drill rod; mountain mechanical engineering.

На современном этапе формирования рыночной экономики основой эффективного функционирования и развития горной промышленности страны является широко применяемый подземный способ добычи полезных ископаемых. Добыча полезных ископаемых ведется посредством разрушения горных пород, которое, в зависимости от характера,осуществляетсямеханическими и немеханическими способами бурения.

Немеханические способы слабо изучены, поэтому практически не используются на практике. Из механических способов бурения, наиболее распространенным и эффективным способом является вращательно-ударный способ бурения, при котором буровой инструмент, находясь под большой осевой нагрузкой в постоянном контакте с забоем скважины, разрушает горную породу в результате вращения и периодически наносимых по инструменту ударов [6, 7, 0].

При вращательно-ударном бурении скважин широкое применение получили буровые установки, включающие в себя составные буры, которые состоят из штанг, коронки, армированной твердым сплавом, муфт и хвостовика бурового инструмента [0]. В конструкции составных буров одним из важнейших элементов, определяющим надежность буровой установки в целом, являются резьбовые соединения буровых штанг [9]. Широкое применение резьбовых соединений объясняется простотой и надежностью этого вида креплений, удобством регулирования затяжки, а также возможностью разборки и повторной сборки соединения без замены детали [8, 15-17].

Несмотря на широкое распространение резьбовых соединений при создании цельной конструкции буровой установки, существуют определенные проблемы,

вызванные сложными динамическими условиями, в которых приходится функционировать резьбовым соединениям. Зачастую в таких условиях эксплуатации резьбовые соединения разрушаются по причине многих факторов: дефекты материала труб; коррозионное повреждение элементов бурильной колонны; создание осевой нагрузки на долото частью веса бурильной колонны; превышение крутящего момента при свинчивании резьбовых соединений и т.д. Вследствие этих факторов резьбовые соединения, подверженные воздействию переменных нагрузок, претерпевают усталостные разрушения.

Усталостное разрушение является довольно опасным явлением ввиду отсутствия его предшествующих признаков [4]. Характерной чертой усталостной поломки является почти полное отсутствие деформаций в зоне разрушения. Как правило, в начале разрушения резьбового соединения трещины обычно настолько мелкие, что их трудно обнаружить. Только по достижении трещиной макроскопических размеров наблюдается ее интенсивный рост, следствием которого является полное разрушение резьбового соединения за малый промежуток времени.

Снижение количества усталостных разрушений резьбовых соединений и увеличения срока службы составного бура может быть осуществлено посредством конструктивных или технологических мероприятий. Конструктивные решения являются необходимыми, но не достаточными мероприятиями в вопросе повышения усталостной прочности резьбовых соединений. Кроме того, конструктивные изменения в резьбовых соединения зачастую приводят к усложнению конструкции соединения, повышению себестоимости, размеров и массы соединения [0]. Вследствие этого, необходимо обратить особое внимание на технологические мероприятия, которые позволяютулучшать состояние сопрягаемых резьбовых поверхностей, тем самым способствуя повышению усталостной прочности резьбовых соединений.

Одним из основных показателей состояния поверхностей является шероховатость, влияние которой на усталость наиболее изучено по сравнению с другими параметрами [0, 10, 0]. Известно, что микронеровности резьбовых поверхностей, образующиеся в результате воздействия инструмента на обрабатываемую поверхность, а также упругопластическая деформация металла, оказывают существенное влияние на выносливость резьбовых соединений. Чем глубже микронеровности и острее их впадины, тем в большей степени снижается усталостная прочность резьбовых соединений, их коррозионная стойкость, так как в большей степени возрастают местные напряжения, способствующие образованию усталостных трещин [0, 0, 0]. К примеру, в работе Якушева [0] установлено, что при формировании шероховатости резьбовой поверхности по параметру Ra = 0,63…1,25 мкм усталостная прочность резьбового соединения увеличивается в разы по сравнению с резьбовым соединением, у которого поверхности имеют шероховатость по параметру Ra = 2,5…3,2 мкм.

Формирование требуемого состояния поверхностей, и в частности качественного показателя – шероховатости, осуществляется на окончательной стадии изготовления машиностроительных изделий, на которой в последнее время все чаще стараются применять финишные методы обработки (до 80% всех деталей машин подвергаются финишной обработке) [0, 0]. На сегодняшний день наиболее перспективным методом финишной обработки является магнитно-абразивная обработка, так как за достаточно непродолжительное время (60- 210 с) позволяет снижать шероховатость с Ra = 1,25…0,32 мкм до Ra = 0,08…0,01 мкм или с Ra = 10…2,5 мкм до Ra = 0,32…0,08 мкм, уменьшать волнистость в 8…10 раз (с 2…3 мкм до 0,2…0,3 мкм) и гранность в 1,25…2 раза (с 2…3 мкм до 0,8…2,0 мкм), повышать (по сравнению с обработкой кругом, бруском, лентой) контактную прочность и износоустойчивость деталей в 2…3 раза, а также увеличивать относительную опорную длину профиля поверхности до 75…85% [0].

Магнитно-абразивная обработка заключается в том, что порошковая ферромагнитная абразивная масса, уплотненная энергией магнитного поля, осуществляет абразивное воздействие на обрабатываемую заготовку, при этом последней придают требуемые для обработки движения – вращательное, осциллирующее и возвратно-поступательное (если это возможно и необходимо) [3, 0-0]. Обработка по данному методу представляет собой ориентированное и избирательное абразивное микрорезание и микровыглаживание. Сущность этого процесса состоит в том, что при сравнительно больших величинах микровыступов, зерна порошка контактируют преимущественно с вершинами гребешков, являющихся концентраторами магнитных силовых линий. Каждый рабочий элемент (зерно) в магнитном поле устанавливается наибольшей осью по направлению к обрабатываемой поверхности. При износе и затуплении вершин происходит переориентация элемента таким образом, что вновь образовавшаяся наибольшая ось направляется вдоль магнитных силовых линий. В результате обработка поверхности детали производится острыми кромками, т.е. имеет место процесс ориентированного абразивного резания [0, 0]. Указанная особенность магнитно-абразивной обработки, а также возможность копирования формы сложнопрофильной поверхности в процессе обработки имеют огромные преимущества перед традиционными методами финишных операций.

Вследствие вышеизложенного, на кафедре машиностроения Санкт-Петербургского горного университета было принято решение на окончательной стадии изготовления резьбовых соединений буровой штанги произвести магнитно-абразивную обработку наружных и внутренних резьбовых поверхностей с целью снижения шероховатости и увеличения площади контакта витков резьбового соединения, удаления предшествующего дефектного слоя, образованного на предшествовавшей операции, и формирования нового – упрочненного, и, как следствие, повышения усталостной прочности резьбового соединения. На данный момент научной группой кафедры машиностроения разрабатывается способ и устройство для магнитно-абразивной обработки наружных и внутренних резьбовых поверхностей буровых штанг для вращательно-ударного способа бурения. По окончании разработки будут проведены исследования по определению качественных характеристик получаемых поверхностей, а также будут выявлены режимные параметры магнитно-абразивной обработки для формирования требуемого состояния резьбовых поверхностей.

В настоящее время на кафедре машиностроения Санкт-Петербургского горного университетаимеется опыт решения подобных задач, именно задач по магнитно-абразивной обработке сложнопрофильных поверхностей. В работах [0, 0, 0-0] установлено, что применение магнитно-абразивной обработки при подготовке сложнопрофильных инструментов для нарезания внутренних резьб в труднообрабатываемых материалах позволяет увеличить стойкость режущего инструмента в 2-3 раза и уменьшить шероховатость внутренней резьбы в 2,1-4,0 раза (в зависимости от условий подготовки инструмента).

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.* Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов. - Л: Машиностроение, 1986. - 176 с.
4. *Биргер И.А*. Резьбовые и фланцевые соединения / И.А. Биргер, Г.Б. Иосилевич. - М.: Машиностроение, 1990. - 368 с.

5. *Кексин А.И.* Повышение качества внутренних резьбовых поверхностей на основе предварительного магнитно-абразивного полирования сложнопрофильного инструмента: дис. … канд. техн. наук. – СПб:, 2017. - 200 с.
6. *Казанцев А.А.* Техника бурения подземных скважин и анализ динамики колонны штанг малого диаметра при вращательно-ударном нагружении / А. А. Казанцев, Л. А. Саруев, А.Л. Саруев. - Юрга: Изд-во ЮТИ ТПУ, 2007. - 127 с.
7. *Казанцев А.А.* Зависимость работы буровой колонны при вращательном бурении от конструкции резьб овых соединений штанг // Проблемы геологии и освоения недр. X международный симпозиум имени ак. М.А. Усова студентов и молодых ученых. Томск. 3–7 апр. 2006 г. - Томск. - С. 476–478.
8. *Красный В.А.* Применение метода направленного затвердевания для повышения качества трубчатых заготовок из различных чугунов / В.А. Красный, В.Ф. Бевза, В.П. Груша // Металлург. - 2018. - № 6. - С. 36-44.
9. *Локтев Д.А.* Обработка резьбовых поверхностей на станках с числовым программным управлением. – М.: Изд-во Московского гос. горного ун-та, 2006. - 116 с.
10. *Максаров В.В.* Технологическое обеспечение качества направляющих металлорежущих станков / В.В.Максаров [и др.] // Металлообработка. - 2019. - № 112. Т 4. - С 59–67.
11. *Максаров В.В.* Технологическое обеспечение шероховатости резьбовых поверхностей посредством предварительного магнитно-абразивного полирования метчика / В.В. Максаров, А.И. Кексин // Металлообработка. - 2018. - № 2 (104). - С. 35-40.
12. *Максаров В.В.* Технологические особенности магнитно-абразивной обработки в условиях цифровых технологий. / В.В. Максаров [и др.] // Металлообработка. - 2019. - № 4 (112). - С. 3-10.
13. *Максаров В.В.* Технологическое повышение качества сложнопрофильных поверхностей методом магнитно-абразивного полирования / В.В. Максаров, А.И. Кексин // Металлообработка. - 2017. - № 1 (97). - С. 47-57.
14. *Малинина Е.М.* Способы бурения скважин / Е.М. Малинина, С.В. Аракчеева // Вологдинские чтения.. - 2009. - №. 76. – С. 110-111.
15. *Песин М.В.* Пути решения проблемы разрушения резьбовых соединений нефтепромыслового и бурового оборудования / М.В. Песин [и др.] // Экспозиция Нефть Газ. -2015. - №4 (43).
16. *Порцевский А.К.* Подземные горные работы. Часть 1 и 2. – МГОУ, 2005. - 78 с.
17. *Прокофьев А.Н.* Технологическое обеспечение и повышение качества резьбовых соединений: дис. … д-ра техн. наук. – Брянск, 2008. - 304 с.
18. *Сакулевич Ф.Ю.* Основы магнитно-абразивной обработки. - Мн.: Наука и техника, 1981. -328 с.
19. *Саруев А.Л.* Динамические процессы и напряжения в элементах резьбовых соединений буровых штанг при вращательно-ударном нагружении: монография / А.Л. Саруев, Л.А. Саруев // М-во образования и науки Российской Федерации, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования «Нац. исслед. Томский политехнический ун-т». 2-е изд. - Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2011. - 100 с.
20. *Трощенков С.А.* Повышение износостойкости резьбовых соединений буровых труб [Электронный ресурс]: выпускная квалификационная работа бакалавра: 15.03.02 / С.А. Трощенков. – Красноярск: СФУ, 2016. - 82 с.
21. *Якушев А.И.* Повышение прочности и надежности резьбовых соединений / А.И. Якушев, Р.Х. Мустаев, Р.Р. Мавлютов. - М.: Машиностроение, 1979. - 215 с.

УДК 621.923.5

ЩЕПКОВ А.Н.
Санкт-Петербургский горный университет

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПРЕЦИЗИОННЫХ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ

Аннотация. В статье изложена информация о технологическом обеспечении качества прецизионных гильз цилиндров. Рассмотрены е параметры точности и качества поверхностей гильз цилиндров, приведена технология изготовления, обеспечивающая выполнение конструкторских требований.

Ключевые слова: гильза; технология; обработка; растачивание; хонингование; оборудование.

SCHEPKOV A.N.
Saint-Petersburg Mining University

THE PRACTICE QUALITY CONTROL OF PRECISION CYLINDER LINERS

Abstract. The article provides information on technological quality assurance of precision cylinder liners. The parameters of accuracy and quality of cylinder liner surfaces are considered, the manufacturing technology ensuring the fulfillment of design requirements is given.

Keywords: liner, technology, machining, boring, honing, equipment.

Гильзы цилиндров двигателей внутреннего сгорания в процессе работы испытывают значительные нагрузки от давления газов, термические напряжения от нагрева продуктами сгорания, подвергаются коррозирующему воздействию горячих газов и истиранию, поэтому важно обеспечить при изготовлении детали высокую работоспособность.

Гильзы цилиндров должны быть прочными, жесткими, износостойкими и должны обеспечивать возможно меньшие потери на трение поршня о поверхность цилиндра. Внешняя и внутренняя поверхности гильз должны обладать антикоррозионной устойчивостью. Конструкция гильз должна также обеспечивать надежность уплотнений в местах стыков гильз с головкой и блоком цилиндров [1].

По конструкции гильзы цилиндров современных автомобильных двигателей можно разделить на две группы (рис. 1)

Рисунок 1 – Конструкции гильз цилиндров:
а) – «мокрая» гильза; *б*) – «сухая» гильза

Конструкцией двигателя с водяным охлаждением предусмотрена полость в картере двигателя, так называемая «рубашка охлаждения». Гильза цилиндра, соприкасающаяся своей поверхностью с охлаждающей жидкостью, протекающей в «рубашке охлаждения», называется «мокрой». Такие гильзы обеспечивают лучший отвод тепла, но картер двигателя в этом случае обладает меньшей жесткостью. Большое распространение эти гильзы получили на грузовых и тракторных двигателях благодаря своей высокой ремонтопригодности [1].

Гильзы, не имеющие соприкосновения с охлаждающей жидкостью, называются «сухими» гильзами. Конструкцией некоторых двигателей предусмотрена при изготовлении установка в блок картера гильз, изготовленных из износостойкого материала, что создает оптимальные условия для работы цилиндро-поршневой группы. Широкое распространение «сухие» гильзы получили в сфере капитального ремонта двигателя [1].

Гильзы изготавливают из чугуна, стали, латуни или алюминия. Внутренняя поверхность, называемая зеркалом, должна быть твердой и гладкой: чем тверже поверхность и ниже ее шероховатость, тем долговечнее будет двигатель. Необходимая твердость поверхности достигается высокочастотной закалкой всей гильзы, или закалкой только внутренней поверхности, цементации, азотирования и цианирования.

Таблица 1

Предельная твердость рабочей поверхности гильзы при различной термообработке

Материал	Твердость по Роквеллу			
	Закаливание в масле	Током высокой частоты	Цианирование, азотирование	Цементирование
38ХМЮА	48–50	48–50	62–70	–
ШХ15	62–63	62–63	62–67	63–65
30ХГСА	48–51	48–51	–	–

При механической обработке гильз должны обеспечиваться следующие основные технические условия (рис. 2):

1. Точность внутреннего диаметра гильзы по 6–7 квалитету и выше. Отклонения формы внутренней цилиндрической поверхности (овальность, конусность) 0,02 мм.
2. Шероховатость внутренней поверхности (зеркала) – Ra = 0,32...0,16 мкм.
3. Биение посадочных поясков у мокрых гильз относительно поверхности зеркала 0,10 мм, разность биения верхнего и нижнего поясков при замере в одной плоскости – не выше 0,08 мм. У сухих гильз указанное биение посадочных поясков не выше 0,05 мм.
4. Шероховатость посадочных поверхностей у мокрых гильз – Ra = 1,25...0,63 мкм, у сухих гильз – Ra = 0,63...0,32 мкм.
5. Свободные размеры по 12 квалитету.
6. Гильзы подвергают гидравлическим испытаниям под давлением не менее 0,4 МПа в течение 2 мин и более, при этом потение наружной поверхности гильзы не допускается [2].

Технология изготовления.

Заготовку для гильзы из чугуна получают обычно центробежным литьем или литьем в земляные формы с корковым стержнем. Центробежное литье устраняет смешение полуформ и уменьшает расход металла на литники по сравнению с литьем в неподвижные земляные формы. Для стальных гильз в качестве заготовки использую катаные трубы из сталей 38ХМЮА, ШХ15 (при азотировании зеркала гильзы) и 45, 45Х (при хромировании). Трубы разрезают на заготовки дисковой пилой или на

труборезном станке. Длина заготовок равна длине детали с припуском на торцах. Заготовки подвергают нормализации.

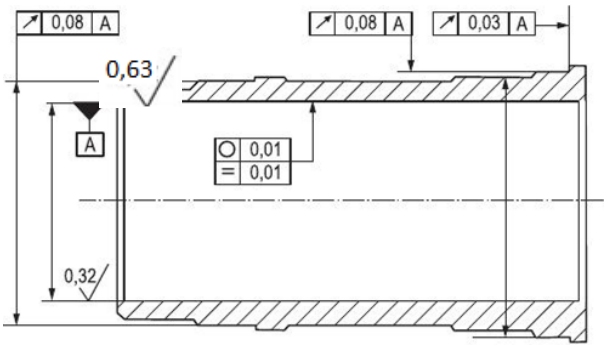


Рисунок 2 – Гильза цилиндра

Технологическая схема обработки гильзы: черновое растачивание; получистовое растачивание; черновое обтачивание; получистовое обтачивание; чистовое обтачивание; закалка ТВЧ и отпуск; чистовое растачивание; гидравлическое испытание; предварительное хонингование; чистовое хонингование; шлифование поясков и бурта; подрезка торцов и обтачивание наружного диаметра бурта; тонкое хонингование.

Черновое и получистовое растачивание внутренней поверхности гильзы производят на многошпиндельных расточных станках. Деталь устанавливают в конические ловители, один из которых (верхний) является неподвижным, и зажимают по наружной необработанной поверхности [2].

После двукратного растачивания внутреннего отверстия, проверки и разметки изделие устанавливают на многорезцовых или на гидрокопировальных полуавтоматах, где производится черновое, получистовое и чистовое обтачивание. Обтачивают верхний буртик, направляющие поясков и стенки между ними, нижнюю часть гильзы [3].

Чистовое растачивание внутреннего отверстия происходит после закалки ТВЧ и отпуска. Операцию выполняют на алмазно-расточных станках типа 2Е78П резцами из твердого сплава ВК6 с подачей 0,5 мм/об и скоростью резания около 100 м/мин, снимаемый припуск на сторону 0,1...0,03 мм. Учитывая малую жесткость гильзы, ее устанавливают по обработанным наружным пояскам и прижимают торцом, что устраняет ее упругие деформации. Гидравлические испытания гильзы происходят при давлении 0,4 МПа в течение 2 мин [2, 4, 5, 6].

Повышение точности и качества обработки прецизионных поверхностей внутренних отверстий гильз достигается применением виброустойчивой инструментальной системы [8, 9, 10], назначением оптимальных режимов резания [11], с учетом динамических процессов при работе технологического оборудования [12, 13, 14], использованием точных методов расчета промежуточных диаметральных размеров [15, 16, 17].

Предварительное и чистовое хонингование производится на одно- или многошпиндельных станках. Обработка большой поверхности зеркала цилиндра с высокой точностью, обеспечивающей равномерный малый припуск на хонингование, затруднительна. Поэтому для упрощения обработки и сокращения трудоемкости растачивания целесообразно оставлять на хонингование большой припуск (до 0,5 мм на диаметр), а хонингование производить последовательно тремя наборами брусков: крупнозернистыми (зернистость 40–50), средними (зернистость 12–10) и тонкими (зернистость 4–3). При хонинговании гильзу необходимо закреплять за буртик, чтобы избежать деформации детали и получения овального отверстия [3].

Хонингование разнозернистыми брусками обеспечивает микрорельеф (рис. 3), состоящий из участков с малой высотой микронеровностей – «плато» и впадин – рисок, глубина которых в 3–8 раз больше, чем высота микронеровностей на «плато» [4, 18, 19].

Эффективность автоматизированного производства гильз цилиндров повышается с применением ресурсосберегающих технологий [20, 21].

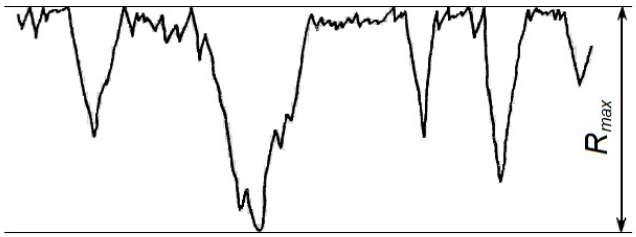


Рисунок 3 – Микрорельеф поверхности после хонингования

Контроль внутреннего диаметра гильз, биение посадочных поясков и торцов буртов относительно внутреннего диаметра гильз в специализированных предприятиях производят с помощью приспособления для контроля гильз цилиндров КИ-5475. Контроль гильз производят при температуре 20 °С. Осмотр внутренней поверхности гильз цилиндров на наличие рисок, черновин, забоин и т. д. производят на специальном приспособлении для дефектоскопии. Шероховатость внутренней рабочей поверхности гильз цилиндров в условиях ремонтных предприятий контролируют по образцам шероховатости поверхности [7].

Таким образом, качество прецизионных гильз цилиндров зависит от материала заготовки, технологии обработки, нанесения различных покрытий [22-26].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ненишев А.С.* Технология производства деталей двигателей внутреннего сгорания: учебное пособие / А.С. Ненишев [и др.]. - Омск: СибАДИ, 2009. - 92 с.
2. *Гурин Ф.В.* Технология автотракторостроения / Ф.В. Гурин, В.Д. Клепников, В.В. Рейн. - М.: Машиностроение, 1981. - 295 с.
3. *Ягудин М.Л.* Технология производства деталей двигателей внутреннего сгорания / М.Л. Ягудин. – М.: Машиностроение, 1981. - 347 с.
4. *Карагодин В.И.* Ремонт автомобилей и двигателей: учеб. пособие / В.И. Карагодин, Н.И. Митрохин. - М.: Академия, 2013. - 496 с.
5. *Канарчук В.Е.* Восстановление автомобильных деталей: технология и оборудование: учеб. для вузов / В.Е. Канарчук [и др.]. - М.: Транспорт, 1995. - 303 с.
6. *Румянцев С.И.* Ремонт автомобилей: учебник для автотрансп. техникумов / С.И. Румянцев [и др.]; под ред. С.И. Румянцева. - М.: Транспорт, 1988. - 327 с.
7. *Суханов Б.Н.* Техническое обслуживание и ремонт автомобилей / Б.Н. Суханов [и др.]. - М.: Транспорт, 1985. - 224 с.
8. *Максаров В.В.* Повышение точности изготовления силовых гидроцилиндров механизированных крепей на основе виброустойчивой инструментальной системы / В.В. Максаров, Ю.Ю. Ольт // Записки Горного института. - 2015. - № 214. – С. 71-84.
9. *Максаров В.В.* Совершенствование технологии изготовления прецизионных поверхностей силовых гидроцилиндров на основе виброустойчивой инструментальной системы / В.В. Максаров, П.В. Леонидов, Д.А. Осминко // Современные высокоэффективные технологии и оборудование в машиностроении» (МТЕТ - 2016), под ред. А.А. Поповича. – СПб.: Санкт-Петербургский Политехнический университет

Петра Великого, 2016. – С. 76-95.
10. *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. - № 2. – С. 35-40.
11. *Mavliutov A.R.* Optimization of cutting parameters for machining time in turning process / Mavliutov A.R., Zlotnikov E.G. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.- 2018. – 042069.
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. – 082015.
13. *Ershov D.Y.* Dynamic processes in technological systems of machining and the nature of their origin / D.Y. Ershov, L.E. Koboyankwe, E.G. Zlotnikov // IOP Conference Series: Earth And Environmental Science. - 2017. – 082016.
14. *Ershov D.Y.* Own fluctuations of technological systems / D.Y. Ershov, E.G. Zlotnikov, B. Nestorovski // Journal of Physics: Conference Series. - 2019. - 22055.
15. *Помпеев К.П.* Метод расчета промежуточных диаметральных размеров при разработке технологических процессов / Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики - IPDME-2018. Сборник трудов международной научно-практической конференции под ред. В.В. Максарова. – СПб.: Санкт-Петербургский горный университет. - 2018. - Т. 1. – С. 40-40.
16. *Khalimonenko A.D.* Method of Calculating Intermediate Diametral Sizes and Allowances for Designing Technology of Manufacture of Details / A.D. Khalimonenko, K.P. Pompeev, D.Y. Timofeev // AER-Advances in Engineering Research. - 2017. – 133(1). - P. 312-317.
17. *Pompeev K.P.* Precision dimensional analysis in CAD design of reliable technologies / K.P. Pompeev, D.Y. Timofeev // IOP Conf. Series: Earth and Environmental. - 2018. – 194.
18. *Бабичев А.П.* Хонингование: монография / А.П. Бабичев [и др.]. - Волгоград: ВолгГАСУ, 2013. – 245 с.
19. *Муратов К.Р.* Методы хонингования высокоточных отверстий / К.Р. Муратов, Е.А. Гашев // Современные проблемы науки и образования. – 2014. - № 5. - С. 28-35.
20. *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.
21. *Злотников Е.Г.* Выбор технологической схемы переработки металлической стружки в автоматизированном производстве // Инновации на транспорте и в машиностроении. Сб. тр. IV международной научно-практической конференции. - 2016. - Т. III. - С. 36-38.
22. *Красный В.А.* Триботехнические характеристики деталей горных машин с регулярной микрогеометрией поверхности / В.А. Красный, В.В. Максаров // Металлообработка. - 2016. - № 1 (91). - С. 29-35.
23. *Maksarov V.V.* Increase of wear and fretting resistance of mining machinery parts with regular roughness patterns / V.V. Maksarov, J. Olt, V.A. Krasnyy // Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium. - 2016. – 1. - P. 250-259.
24. *Maksarov V.V.* Specific Features of Friction Mechanisms of Thin-film Coatings of Parts of Mining Machines Working in Fretting Corrosion / V.V. Maksarov, V.A. Krasnyy // AER-Advances in Engineering Research. - 2017. – 133(1). – P. 445-451.
25. *Сивенков А.В.* Восстановление деталей машин химико-термической обработкой / А.В. Сивенков, Д.А. Кончус // Инновации на транспорте и в машиностроении. Сб. тр. IV международной научно-практической конференции. - 2016. - С. 126-129.
26. *Сивенков А.В.* Химико-термическая обработка сталей в среде легкоплавких растворов / Записки Горного института. – 2014. – Т. 209. – С. 244-248.

УДК 621.285.4:624.191.6

ЯЧЕЙКИН А.И.
Санкт-Петербургский горный университет

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РОТОРНЫХ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ТОННЕЛЕПРОХОДЧЕСКИХ ЩИТОВ

Аннотация. В статье рассмотрены проблемы возникающие при строительстве тоннелей метро в сложных горно-геологических условиях Санкт-Петербурга. Рассмотрена техника, применяемая при проходке перегонных тоннелей и наклонных ходов. Проанализирована работа и проблемы роторных исполнительных органов, возникающие при работе по сложноструктурированному забойному массиву. Предложено техническое решение – установка виброактивных породоразрушающих инструментов и модернизированная расстановка резцов. Предложенное техническое решение для модернизации роторных исполнительных органов тоннелепроходческих щитов позволит существенно повысить эффективность разрушения сложноструктурированного забойного массива.

Ключевые слова: проходческий щит; ротор; схема расстановки резцов; виброактивные шарошки; комбинированный забой; скорость проходки.

IACHEIKIN A.I.
Saint-Petersburg Mining University

INCREASING THE PRODUCTIVITY OF THE ROTARY EXECUTIVE BODIES OF TUNNELING BOARDS

Abstract. The article deals with the problems that arise during the construction of metro tunnels in the complex mining and geological conditions of St. Petersburg. The technique used for driving Stillwater tunnels and inclined passages is considered. The work and problems of rotary Executive bodies that arise when working on a complex-structured bottom-hole array are analyzed. A technical solution is proposed – installation of vibro-active rock-breaking tools and modernized placement of incisors. The proposed technical solution for the modernization of rotary Executive bodies of tunneling shields will significantly increase the efficiency of destruction of a complex structured bottom hole array.

Keywords: tunneling shield; the rotor; the scheme of arrangement of the cutters; vibroaction cutter; combination mine; the rate of penetration.

В Санкт-Петербурге наиболее востребованным городским видом транспорта является метрополитен. Однако, в связи с сложными горно-геологическими условиями темпы его строительства весьма низкие. Проходка выработок в зависимости от их глубины осуществляется по комбинированному забойному массиву, представленному глиной с разнообразием твердых включений гранитных валунов, гальки, а также прослоек известняка и песчаника [1]. Проходка тоннелей в таких горно-геологических условиях обладает не только низкой скоростью, но и весьма трудозатратна, несмотря на то, что осуществляется современными тоннелепроходческими щитами Herrenknecht [2] (рис. 1).

Тоннелепроходческие щиты Herrenknecht S-441 и S-782 имеют роторные исполнительные органы, оснащенные не только резцами, но и дисковыми шарошками [3], причем расстановка резцов выполнена по схеме разрушения массива «сплошным

забоем». Практика применения тоннелепроходческих щитов показала недостаточно высокую скорость проходки, обусловленную малой подачей исполнительного органа на забой, частыми выходами из строя породоразрушающего инструмента и высокой энергоемкостью процесса разрушения.

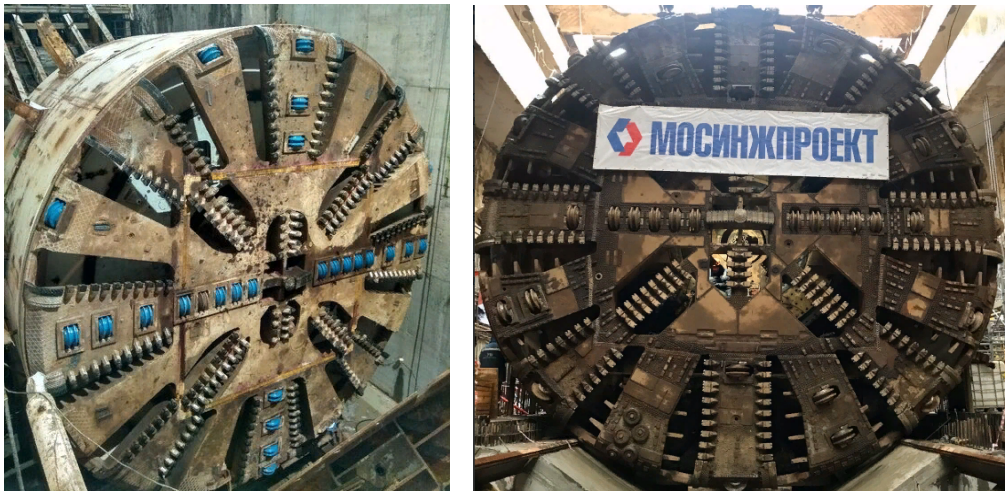


Рисунок 1 - Тоннелепроходческие щиты Herrenknecht S-441 и Herrenknecht S-782

В настоящий момент задача интенсификации разрушения сложноструктурированного забойного массива и, как следствие, повышение скорости проходки тоннелей, является весьма актуальной. Выполнение поставленных задач возможно путем применения виброактивных породоразрушающих инструментов – шарошек, конструкция которых запатентована [4]. Принцип их действия основан на дробяще-скалывающем способе разрушения забоя [5].

Для проверки работоспособности виброактивных шарошек изготовлен экспериментальный стенд на котором в настоящее время проводятся исследования функции h – глубины внедрения шарошек в породу от таких параметров как осевое усилие P_{oc} и энергия удара $A_{уд}$. На рис. 2 показана зависимость глубины внедрения шарошечной модели от осевого усилия совместно с наложением ударной нагрузки.

Анализ графика показал, что при увеличении осевого усилия совместно с наложением ударной нагрузки происходит увеличение значения величины внедрения шарошечной модели в породу. Помимо этого существенно меняется характер разрушения, появляются крупные сколы породы.

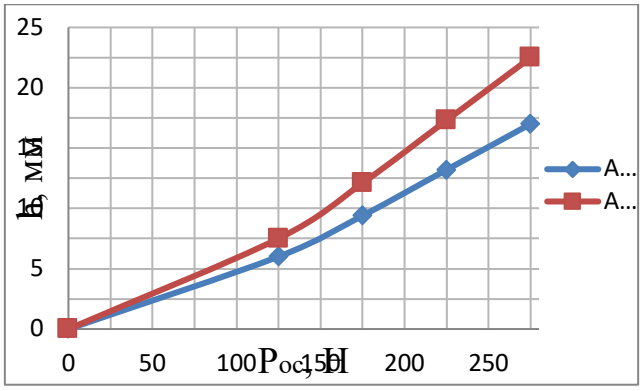


Рисунок 2 - Зависимость глубины внедрения шарошечной модели в глину от осевого усилия и энергии удара

Помимо интенсификации разрушения забойного массива необходимо добиться снижения энергоемкости процесса разрушения. Для этого необходима замена

заводских резцов (рис. 3, а) на отечественные типа РКС [6] с меньшей шириной режущей кромки, что в совокупности с увеличенным шагом их расстановки (рис. 3, б) позволит повысить эффективность разрушения благодаря увеличению ширины скола.

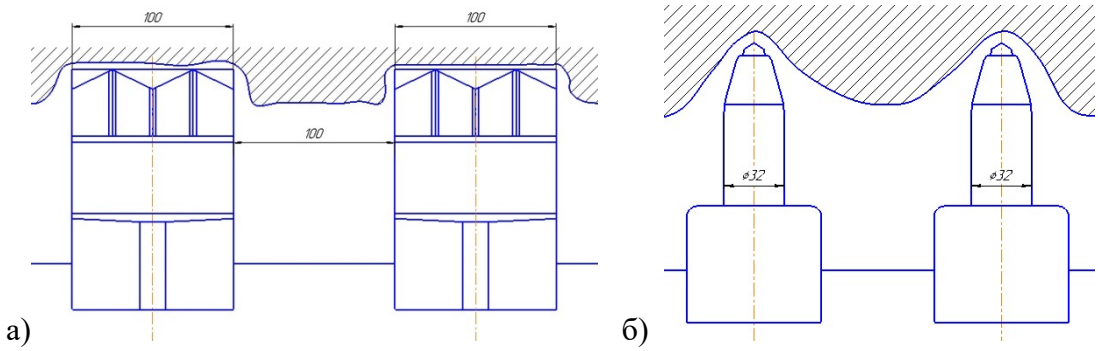


Рисунок 3 – Схема расстановки резцов на исполнительном органе:
а – заводская схема расстановки резцов; б - модернизированная схема расстановки резцов

Усовершенствованная схема расстановки резцов с меньшей шириной режущей кромки позволит снизить крутящий момент на исполнительном органе, повысить эффективность разрушения забойного массива благодаря образованию сколов породы, что в свою очередь приведет к снижению энергоемкости процесса разрушения. Установка виброактивных шарошек на роторном исполнительном органе современных тоннелепроходческих щитов позволит повысить эффективность разрушения сложноструктурированного забойного массива, увеличить производительность и расширить область его применения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дашко Р.Э.* Особенности инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга / Р.Э. Дашко [и др.] // Развитие городов и геотехническое строительство. – 2011. - №1. – С. 1-47.
2. Проходческая техника, открывающая новую эру для подземных транспортных систем. - Проспект «Херренкнехттоннельсервис», 2007. – 20 с.
3. *Бреннер В.А.*. Щитовые проходческие комплексы / В.А.Бреннер [и др.]. – М.: Горная книга, 2009. – 360 с.
4. Юнгмейстер Д.А., Ячейкин А.И., Уразбахтин Р.Ю. Виброактивный исполнительный орган // Патент РФ 2701764. 2019.
5. *Юнгмейстер Д.А.* 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.
6. ОСТ 12.44.258-84. Комбайны очистные. Выбор параметров и расчёт сил резания и подачи на исполнительных органах. Методика. – М.: Министерство угольного машиностроения, 1986. – 108 с.

СОДЕРЖАНИЕ

АБДУЛАЕВ Э.К.
АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ФАКТОРО ВЛИЯЮЩИХ НА РЕСУРС КРУПНОГАБАРИТНЫХ ШИН..... 3
АБДУРАЗАКОВ Х.Ф.
ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ЭФФЕКТИВНОЙ РАЗГРУЗКЕ СМЕРЗШЕГОСЯ ГРУЗА ИЗ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПОЛУВАГОНОВ..... 6
АЛАДЬИН М.Е.
МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ..... 13
АЛИЕВА Л.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ХОНИНГОВАНИЯ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ..... 17
АНИКИНА М.А.
УВЕЛИЧЕНИЯ РЕСУРСА РАБОТЫ ПЛУНЖЕРНЫХ НАСОСОВ ИЗ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ..... 22
АНИКИНА М.А., ЖИГАЙЛОВА Д.А.
ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ, ТВЕРДОСТЬ И ПАРАМЕТРЫ СТРУКТУРЫ СТАЛИ 38ХН3МФА ПОСЛЕ ЧАСТИЧНОГО НЕМАРТЕНСИТНОГО РАСПАДА ПРИ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ЗАКАЛКЕ И РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ ОТПУСКА..... 25
АРСЛАНОВА Ф.Г., ЕРШОВА Е.С., ОДИНЦОВ Е.Е.
РАЗРУШЕНИЕ ТОРНАДО КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОБЫЧИ В ГОРНОРУДНОЙ И НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛЯХ..... 28
АТРОЩЕНКО В.А., АБДУЛАЕВ Э.К., КУЖЕЛЕВ А.И.
ВЛИЯНИЕ ГИДРОАБРАЗИВНОГО ИЗНОСА НА РЕСУРС НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПЕРЕКАЧКИ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ..... 32
АХМЕРОВ Э.В., ПЛАЩИНСКИЙ В.А., КРИВОКРЫСЕНКО Е.А.
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ СУЩЕСТВУЮЩИХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ БЫСТРОИЗНАШИВАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ..... 37
БАБИКОВ А.И.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТОИР КОМПЛЕКСА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН ДРОБИЛЬНО-СОРТИРОВОЧНОГО ЦЕХА.... 40
БАСОВА Т.В., БАСОВА М.В.
АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПОЛУЧЕНИЕ ТОЧНЫХ РАЗМЕРОВ ОТВЕРСТИЙ КОРПУСОВ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА СТАНКЕ С ЧПУ..... 45
БЕЛОВ Н.В.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВАЛА ТИХОХОДНОЙ СТУПЕНИ РАЗДАТОЧНОЙ КОРОБКИ ДЛЯ БУРОВОЙ УСТАНОВКИ УРБ-2А-2..... 50
БЕЛЯКОВ А.А., САЛПАГАРОВ Э.М.
АМОРФНЫЕ МЕТАЛЛЫ КАК МАТЕРИАЛЫ БУДУЩЕГО..... 55
БИТЮКОВ В.А.
ПРИМЕНЕНИЕ РЕЖУЩЕЙ КЕРАМИКИ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОТКЕ..... 59

БОРОДКИН Э.О.
ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ РУКОЯТИ МЕХАНИЗМА ШАГАНИЯ ДОБЫЧНОГО УСТРОЙСТВА СБОРА МОРСКИХ ЖМК..... 63
ВИНОГРАДОВ Д.А., ЖДАНОВ В.В., СИДОРЕНКО А.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ И ТВЕРДОСТИ ОБРАЗЦОВ ИЗ СТАЛИ 38ХН3МФА ПОСЛЕ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ ЗАКАЛКИ И ПОСЛЕДУЮЩЕГО ВЫСОКОГО ОТПУСКА..... 66
ГАВРИЛЮК А.А.
РАЗРАБОТКА РОБОТИЗИРОВАННОГО FMS КОМПЛЕКСА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ..... 68
ГАРАЩЕНКО Ж.М., ЦЫУЛЕВА К.Г.
ОСОБЕННОСТИ КОМПОНОВКИ ВЫЕМОЧНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ОТРАБОТКИ ЦЕЛИКОВ ПО ВОССТАНИЮ..... 72
ГАРБУЗОВА Ю.С.
СПОСОБ УВЕЛИЧЕНИЯ РЕСУРСА РАБОТЫ УПЛОТНЕНИЙ ПЛУНЖЕРНЫХ НАСОСОВ ПОДБОРОМ МАТЕРИАЛОВ..... 76
ГОЛИКОВ Т.С.
ВЛИЯНИЕ НАРОСТООБРАЗОВАНИЯ НА КАЧЕСТВО ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ..... 79
ГОЛОВИН М.А.
ДИНАМИЧЕСКАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ ПОДВИЖНОЙ ПЛАТФОРМЫ..... 84
ГОЛОХВАСТОВ Н.С., ШЕРСТНЕВА А.Б.
ИССЛЕДОВАНИЕ ТВЕРДОСТИ СТАЛИ У8 ПОСЛЕ ЗАКАЛКИ ЧЕРЕЗ ВОДУ В МАСЛО..... 89
ГОЦУЛ Ю.Д.
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СКВАЖИННОГО ЭЛЕКТРОПАРОГЕНЕРАТОРА В СОСТАВЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ДОБЫЧИ ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ..... 92
ГРИГОРЬЕВ Е.В.
КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА УПРОЧНЯЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ..... 98
ГРИГОРЬЕВ П.С., РЕШЕТНЯК С.Н.
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ ТЯГОВЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД..... 103
ГРУДИНИНА А.М.
ИСТОРИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ И РЕСТАВРАЦИЯОБЪЕКТОВ ПОДВОДНОЙ АРХЕОЛОГИИ..... 108
ГРЯЗНОВ Д.А.
ПОГРУЖНОЙ ПНЕВМОУДАРНИК БУРОВОГО СТАНКА С РЕГУЛИРУЕМЫМ УДАРНЫМ ИМПУЛЬСОМ..... 112
ГУРЕВИЧ И.А.
ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОЦЕНРОБЕЖНОГО НАСОСА..... 115
ДВОЙНИКОВ В.М., СМИРНОВ В.А.
ВНЕДРЕНИЕ В СИСТЕМУ «УМНЫЙ ДОМ» ВЫСОКОТОЧНОГО МОНИТОРИНГА МАГНИТНОГО ПОЛЯ..... 119
ДЕРЯБИНА Т.О., ГОЛОБОРОДЬКО И.О.
СИНТЕТИЧЕСКИЕ АЛМАЗЫ ДЛЯ СОВРЕМЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ..... 123
ДЖАФАРОВ К.А.
АНАЛИЗ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ШНЕКОРОТОРНОЙ ЩЕТОЧНОЙ УБОРОЧНОЙ МАШИНЫ..... 126

ДЛИ М.А.
АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕРКАЛА ЦИЛИНДРОВ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ..... 128
ДУРЯГИН А.Н.
ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПАРЫ РОТОРОВ ДВУХВИНТОВОГО МУЛЬТИФАЗНОГО НАСОСА..... 132
ДЯЧЕНОК Г.В.
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА УПРАВЛЕНИЯ СПРОСОМ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ РОССИИ..... 136
ЖДАНОВ В.В.
УВЕЛИЧЕНИЕ РЕСУРСА РАБОТЫ ПЛУНЖЕРНЫХ НАСОСОВ МЕТОДОМ ПОДБОРА МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИЙ..... 140
ЖИГАЙЛОВА Д.А.
УЛУЧШЕНИЕ РАБОТЫ МЕМБРАННЫХ НАСОСОВ В УСЛОВИЯХ РАДИОАКТИВНЫХ СРЕД ПОДБОРОМ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ..... 142
ЗАБУНОВ А.С.
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ ПРИ РАБОТАХ В МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОМ СЕКТОРЕ..... 145
ЗИМИН Р.Ю.
ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНОГО ФИЛЬТРОКОМПЕНСИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ АКТИВНЫХ И ПАССИВНЫХ ФИЛЬТРОВ С ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫМ ПРИВОДОМ В УСЛОВИЯХ ПРЕДПРИЯТИЙ НЕФТЕДОБЫЧИ..... 149
КАЗАКОВ П.А.
ВЛИЯНИЕ СОСТАВОВ СПЛАВОВ НА СВОЙСТВА МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ИМПЛАНТОВ..... 152
КЛОЧКОВ Д.А.
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЦАПФ РОТОРА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПРИВОДА ПРОКАТНОГО СТАНА МЕТОДОМ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ..... 157
КНЯЗЬКИНА В.И., САФРОНЧУК К.А., МЯКОТНЫХ А.АЛ.
МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРАНСМИССИЙ ГОРНЫХ МАШИН..... 162
КОРОВАШКИН К.П., ПРУЖИНИН А.И.
ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ МОДУЛЯ СУШКИ МОБИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА ТОПЛИВНЫХ ГРАНУЛ..... 166
КОРОГОДИН А.С.
ПОИСК ИННОВАЦИОННЫХ ПОДХОДОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОЛЫХ ЦАПФ ОПОРНЫХ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ БАРАБАННЫХ МЕЛЬНИЦ..... 169
КОРОЛЕВ Р.И.
ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ДОБЫЧИ КОБАЛЬТО-МАРГАНЦЕВЫХ КОРОК..... 174
КОШЕЛЕВА В.А.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ПРОФИЛЯ РАБОЧЕЙ ЧАСТИ РОТОРА ВИНТОВОГО КОМПРЕССОРА..... 177

КРИВОКРЫСЕНКО Е.А., ПОПОВ Г.Г., ЗЛОТИН В.А., ЖУЙКОВ И.В., ГАРЕЕВ Д.В.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ОТ ПАРАМЕТРОВ КОНЦЕНТРАТОРА НАПРЯЖЕНИЙ..... 182
МАКСИМОВ Д.Д.
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ ДВС..... 186
МЕЗЕНЦЕВ Д.А.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ В EXPLICIT DYNAMICS ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА ANSYS WORKBECH…..... 191
МИШИН А.Н.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ..... 195
МИШИН В.В.
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МИКРОГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТИ ШТОКА ГИДРОЦИЛИНДРА НА ОСНОВЕ ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ..... 200
МОРАЛЕС К.АГ.Й.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗНОСА ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ РОТАЦИОННОГО РАСХОДОМЕРА ВОДЫ..... 204
МУРАШЕВ А.А.
МОБИЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ..... 209
МЯКОТНЫХ А.А., КНЯЗЬКИНА В.И.
ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ТРАНСМИССИОННОГО МАСЛА ПО ПАРАМЕТРАМ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА..... 212
НЕФЕДОВ М.С., ШИРШИКОВ В.Ю.
РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДУГОВОЙ ЗАЩИТЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ 6-10 кВ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ..... 216
НИКОЛАЕВА А.Г.
УЛУЧШЕНИЕ РАБОТЫ ПАРЫ ТРЕНИЯ БРОНЗА-СТАЛЬ ПОДБОРОМ МАТЕРИАЛОВ..... 219
ОЛЕЙНИК А.В.
ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАЕКТОРИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ БЛИСКА ПРИ НАНЕСЕНИИ ВАКУУМНОГО ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО ПОКРЫТИЯ..... 221
ПРУЖИНИН А.И., КОРОВАШКИН К.П.
МОБИЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ТОПЛИВНЫХ ГРАНУЛ ИЗ ТОРФОДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ..... 224
РАКИТИН И.В.
ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЗУБЬЕВ КОВША ЭКСКАВАТОРА ИХ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ..... 227
РЕПКИНА К.С.
СПОСОБЫ ГРАНУЛИРОВАНИЯ КОМПОСТА ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ..... 232
РЫБАКОВ А.С.
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АВТОБУСОВ И РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ НАПРАВЛЕННЫХ НА ИХ УСТРАНЕНИЕ..... 237

САФИН Р.А.
КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ ДЕТАЛИ «КОЛЕНЧАТЫЙ ВАЛ» ДВИГАТЕЛЯ КАМАЗ..... 243
СИНЮКОВ А.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ВЕКТРОРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛА ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ…. 247
СОЛОВЬЕВ И.В.
СНИЖЕНИЕ НАЛИПАНИЯ ВЫСОКОВЯЗКИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ПОВЕРХНОСТЬ МЕТАЛЛА..... 253
СУЛЕЙМАН Т. М.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ПОРШНЯ ДВС С ОВАЛЬНО-БОЧКООБРАЗНЫМ ПРОФИЛЕМ..... 258
СУЛИЙ Г.О.
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГАЗОВОГО ДВИГАТЕЛЯ..... 263
ТОЛМАТЕЕВ А.Д., ТАРАСЕНКО Е.А., ШУШКОВ А.С.
ОЦЕНКА ИЗНОСА ПРОФИЛЯ РЕЗЬБЫ ОБСАДНОЙ ТРУБЫ..... 267
ТУШИН Д.А., ЛИТВИНОВ К.В.
АНАЛИЗ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ УГЛЕЙ И ГОРНЫХ ПОРОД РЕЗЦАМИ ГОРНЫХ МАШИН..... 272
УШКОВА Т.О.
РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ПРОЦЕССОМ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ НЕФТИ С ЦЕЛЬЮ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ПАРАФИНИЗАЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ..... 276
ФЕВРАЛЕВА В.С.
ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ НИКЕЛЯ НА ДЛИТЕЛЬНОСТЬ АУСТЕНИТНО-ПЕРЛИТНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ В СТАЛЯХ CR-NI-MO-V КОМПОЗИЦИИ... 279
ФЕДОСЕЕВ Д.В., РУДСКИХ И.В.
АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗВИТИЯ АДАПТИВНСТИ СЕКЦИИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ..... 284
ФИЛИПЕНКО И.А.
ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ КРОМОК АЛЮМИНИЕВЫХ ИЗДЕЛИЙ ПЕРЕД СВАРКОЙ..... 288
ФИРСТОВ А.А.
ПРИМЕНЕНИЕ ДАННЫХ СЪЕМКИ ГЛУБИНЫ ЗАЛОЖЕНИЯ ОСИ УЧАСТКА ПОДЗЕМНОГО ТРУБОПРОВОДА С ПОВЕРХНОСТИ ГРУНТА ДЛЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЕГО ИЗГИБНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ С УЧЕТОМ ПОГРЕШНОСТИ ТРАССОПОИСКОВОГО И НАВИГАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ..... 291
ХАЛТУРИН А.А.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА С ЦЕЛЬЮ ОБНАРУЖЕНИЯ И МОНИТОРИНГА НЕФТЯНЫХ РАЗЛИВОВ НА ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ..... 295
ХОРШЕВ А.А., ЦВЕТКОВ И.А., ЖУКОВА А.А., ДЗЛИЕВ С.В., ЧУБЫКИН В.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО-ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СХЕМЫ СОГЛАСОВАНИЯ ИНДУКТОРА С ИНВЕРТОРОМ НАПРЯЖЕНИЯ..... 301

ХОХЛОВА Е.Д.
ОЦЕНКА РЕСУРСА КРИОГЕННЫХ ГАЗИФИКАТОРОВ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ НА ОСНОВЕ МНОГОУРОВНЕВОЙ МОДЕЛИ ВРЕМЕННЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПАРАМЕТРОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ..... 307
ЦЫУЛЕВА К.Г., ГАРАЩЕНКО Ж.М.
ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ СОЗДАНИЯ ВЫЕМОЧНЫХ МОДУЛЕЙ ДЛЯ ОТРАБОТКИ ПЛАСТОВ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ..... 313
ЧИШЕГОРОВ Д.А.
ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭКСКАВАТОРА ЭКГ-12К..... 317
ШЕВЧЕНКО А.Б.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ СЕГМЕНТИРОВАННЫХ САМОЗАЦЕПЛЕННЫХ СТРУКТУР……... 321
ШИЛОВСКИХ П.Д.
ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ ПОДКЛЮЧЕНИЕ ЦАП..... 326
ЩЕГЛОВА Р.А.
АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ РЕЗЬБОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ БУРОВЫХ ШТАНГ ДЛЯ ВРАЩАТЕЛЬНО-УДАРНОГО СПОСОБА БУРЕНИЯ..... 329
ЩЕПКОВ А.Н.
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПРЕЦИЗИОННЫХ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ..... 333
ЯЧЕЙКИН А.И.
ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РОТОРНЫХ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ТОННЕЛЕПРОХОДЧЕСКИХ ЩИТОВ..... 338

Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2020: Сборник тезисов. Секция «Круглый стол молодых ученых» / Санкт-Петербургский горный университет.
И 665 СПб. 2020. 347 с. (Международная научно-практическая конференция. 23-24 апреля 2020).

ISBN 978-5-94211-913-3

УДК 620; 621; 622; 656; 681
ББК 39:34-08:3,2

Научное электронное издание

ИННОВАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГОРНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИКИ: IPDME-2020

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

23-24 апреля 2020 г.

Сборник тезисов
Секция «Круглый стол молодых ученых»

Статьи публикуются в авторской редакции
Оригинал-макет подготовлен на электромеханическом факультете

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002
Носитель – CD. Объем 33,6 Мб Подписано в свет 29.06.2020. Заказ 415

Санкт-Петербургский горный университет РИЦ
Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2