

СБОРНИК ТРУДОВ

**XXI международной
научно-технической конференции
«Чтения памяти В. Р. Кубачека»**

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ ГОРНОЙ И НЕФТЕГАЗОВОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

Кафедра горных машин и комплексов

СБОРНИК ТРУДОВ

**XXI Международной научно-технической конференции
«Чтения памяти В. Р. Кубачека»**

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ ГОРНОЙ И НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

06-07 апреля 2023 г.

Под общей редакцией проф. Ю.А. Лагуновой

г. Екатеринбург

Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов XXI международной научно-технической конференции «Чтения памяти В. Р. Кубачека», проведенной в рамках Уральской горнопромышленной декады 06-07 апреля 2023 г. / Под общ. ред. Лагуновой Ю.А. / Оргкомитет: Ю.А. Лагунова, А.Е. Калянов. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2023. – 439 с.

ISBN: 978-5-9967-0446-0

В сборнике трудов представлены научные исследования и обзоры в области оборудования для горной и нефтегазовой отрасли. Рассмотрены **вопросы** автоматизации и роботизации горного и транспортного оборудования, современных технологий машиностроения, появления нового и совершенствования существующего оборудования, диагностики и ремонта, моделирования и расчетов сложных технических систем, а также предлагаются антикризисные программы для предприятий в условиях действия антироссийских санкций.

© Уральский государственный
горный университет

Компьютерная верстка кафедры горных машин и комплексов

Организационный комитет

1. *Лагунова Юлия Андреевна* – д-р техн. наук, профессор Уральского государственного горного университета (УГГУ), председатель конференции (г. Екатеринбург);
2. *Калянов Александр Евгеньевич* – канд. техн. наук, сопредседатель конференции (г. Екатеринбург);
3. *Суслов Николай Максимович* – д-р техн. наук, профессор УГГУ (г. Екатеринбург);
4. *Комиссаров Анатолий Павлович* – д-р техн. наук, профессор УГГУ (г. Екатеринбург);
5. *Шестаков Виктор Степанович* – канд. техн. наук, профессор УГГУ (г. Екатеринбург);
6. *Трифанов Геннадий Дмитриевич* – д-р техн. наук, профессор Пермского национального исследовательского политехнического университета (г. Пермь);
7. *Андреева Людмила Ивановна* – д-р техн. наук, гл. н. с. Челябинского филиала Института горного дела ИГД УрО РАН (г. Челябинск);
8. *Глебов Андрей Валерьевич* – д-р техн. наук, зам. директора Института горного дела ИГД УрО РАН (г. Екатеринбург);
9. *Фурин Виталий Олегович* – канд. техн. наук, начальник технической службы ПАО «Уралмашзавод»;
10. *Червяков Сергей Алексеевич* – канд. техн. наук, советник ген. директора по конструкторским разработкам ПАО «Уралмашзавод».

Международный программный комитет

1. *Михайлов Александр Николаевич* – д.т.н., проф., зав. кафедрой технологии машиностроения Донецкого национального технического университета (ДНР);
2. *Ма Гоган* - директор института дистанционного образования, доктор наук Китайский нефтяной университет (Китай);
3. *Ибатов Марат Кенесович* - ректор, доктор технических наук, профессор Карагандинского государственного технического университета («КарГТУ»), (Р. Казахстан);
4. *Бейсембетов Искандер Калыбекович* - ректор, доктор экономических наук, профессор Казахского национального исследовательского технического университета им. К.И. Сатпаева (Р. Казахстан);
5. *Мустафа Баба оглы Бабанлы* – ректор, доктор технических наук Азербайджанского государственного университета нефти и промышленности (Азербайджан);
6. *Маралбаев Акылбек Осмонбаевич* - ректор, профессор Института горного дела и горных технологий имени академика А.Асаналиева (Р.Казахстан).
7. *Сайдаминов Исохон Абдулфайзович* - д.т.н., проф., Губкинский филиал ФГАОУ ВО НИТУ МИСиС.
8. *Рейнхард Сахсенхофер* - профессор Горного университета Леобена (Конго);
9. *Сладковский Александр Валентинович* - д.т.н., проф.; ординарный профессор Силезского технического университета, факультет транспорта (Катовице, Польша);
10. *Умедов Шерали Халлокович* - д.т.н., проф., зав. кафедрой Навоийского технического университета (Узбекистан).

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

УДК 929.00

ПАМЯТИ ИВАНА ОВСЯНОВА

Студент группы ГМО-20-2, стрелок-помощник гранатометчика стрелкового батальона, рядовой, погиб при исполнении обязанностей военной службы 20.09.2022 года при проведении СВО на территории ДНР, ЛНР по демилитаризации и денацификации на Украине при освобождении г. Соледар.

В години испытаний для Отчизны
Урал плечом поддержит фронт, как встарь,
В порыве общем – силы, судьбы, жизни –
Клада ради Победы на алтарь.

Без стона и упрёка, стиснув зубы,
Себя, преодолевая каждый миг,
Сжимая в кровь искусанные губы,
Прошепчет, что сдаваться не привык.

Что он готов трудиться и делиться,
На фронте и в тылу быть за двоих
И, коль случится, смертным боем биться
За близких и товарищей своих.

И все, кто знают, каждый ему верит –
Ведь он не раз на деле доказал,
Что Родине и слову не изменит:
Иначе
 это
 будет
 не Урал!

Павел Жиганов, канд. техн. наук,
выпускник кафедры ГМК

УДК 621.271.022

К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННОГО САМОХОДНОГО ГУСЕНИЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ДОБЫЧЕ КРЕПКИХ РУД ОТКРЫТО-ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ

В. С. Великанов^{1,2}, проф., д.т.н., **В. А. Овчинникова**¹, директор Уральской передовой инженерной школы

¹«УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург,

²ООО «Лаборатория теротехнологии наземных транспортно-технологических комплексов»

Многочисленными исследованиями установлено, что автономные мобильные гусеничные машины и роботы находят широкое применение в различных областях промышленного производства. Они функционируют в нестационарных и неопределенных условиях, поэтому решение проблемы управления движением современного робототехнического оборудования актуально. Рассмотрена необходимость создания систем управления движением автономных мобильных гусеничных машин и роботов в неформализованной внешней среде в условиях подземного рудника при открыто-подземном способе добычи.

Ключевые слова: мобильная гусеничная машина; робот; геотехнология; моделирование, управление

TO THE QUESTION APPLICATION OF ROBOTIC SELF- PROPELLED TRACKED EQUIPMENT IN THE MINING OF HARD ORES BY OPEN-UNDERGROUND METHOD

V. S. Velikanov, V. A. Ovchinnikova

Numerous studies have established that autonomous mobile tracked vehicles and robots are widely used in various areas of industrial production and non-industrial areas. Most often, they operate in non-stationary and uncertain conditions, so the solution to the problem of controlling the movement of modern robotic equipment is undoubtedly relevant. The necessity of solving the problem of building control systems for the movement of autonomous mobile tracked vehicles and robots in a non-formalized environment in an underground mine with an open-underground mining method is considered.

Keywords: mobile tracked vehicle; robot; geotechnology; modeling, control

В Стратегии развития минерально-сырьевой базы до 2035 года отмечено, что уголь, металлические руды (железная руда, медь и др.) относятся к полезным ископаемым первой группы, сырьевая база которых при любых прогнозных сценариях развития экономики достаточны для удовлетворения внутренних потребностей и обеспечения экспортных поставок.

Объемы добываемого в РФ угля устойчиво росли в период 2014–2019 г. В 2020 г. они снизились относительно показателя предыдущего года на 9,6% - до 361,8 млн т., валовая добыча (общее количество добытого угля, включая пустую породу) составила 402,1 млн т. В настоящее время на территории РФ эксплуатируется 108 угольных шахт и 224 разреза, доля открытых работ выросла с 68% до 79%, но вместе с тем половина коксующегося угля (42,3 млн т в 2020 г.) добывается подземным способом, часто в сложных горно-геологических условиях (рис. 1, а).

По выпуску железорудной продукции РФ входит в лидеры мировых производителей, за последнее десятилетие добыча железных руд из недр выросла на 14,9%, добыча велась на 46 месторождениях, причем около 20% добычи сосредоточено на Урале (рис. 1, б).

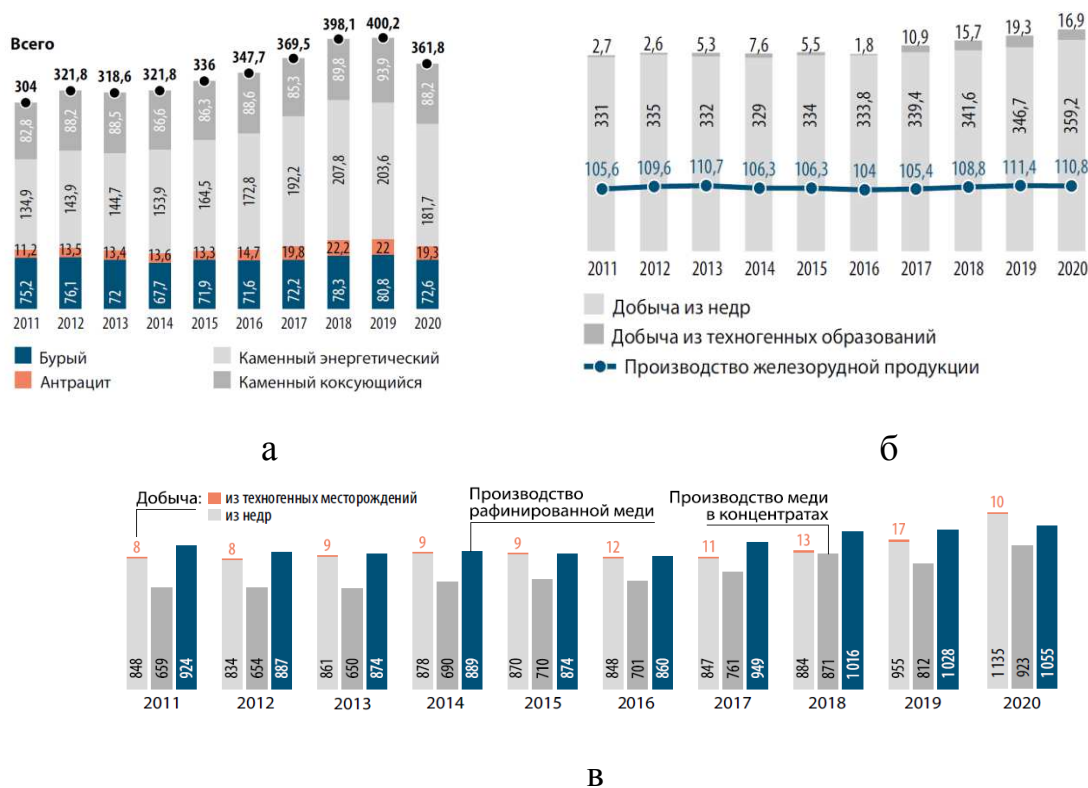


Рис. 1. Динамика добычи угля и металлических руд в 2011–2020 гг.:

а – объем добычи углей, млн т; б – объем добычи железных руд и производства железорудной продукции, млн т; в – динамика добычи меди, производства меди в концентрате и рафинированной меди (включая вторичный металл), тыс т

РФ располагает крупной сырьевой базой меди и входит в десятку крупнейших производителей ее рудничной продукции. Медь входит в число базовых промышленных металлов. С 2018 наблюдается устойчивый рост, что обусловлено началом освоения ряда новых месторождений и их выходом на проектную мощность. В 2020 г. на медь разрабатывалось 48 коренных месторождений, в том числе 40 существенно медных и восемь комплексных медьсодержащих, а также три техногенных месторождения. Рудничное производство меди составило 924,1 тыс. т. (рис. 1, в).

Добыча полезных ископаемых открытым способом на крупных месторождениях осуществляется в течение нескольких десятилетий, по проектам, разработанным двадцать, тридцать и более лет назад. Это обстоятельство в условиях изменчивости внешней и внутренней среды не позволяет принимать оптимальные решения не только по основным параметрам горнотехнической системы, но и по технологическому оборудованию на весь период и полную глубину разработки. Причем, чаще всего для таких месторождений рассматривается переход на открыто-подземный способ добычи (рис. 2).

Переходный процесс при комбинированном способе заключается в смене одного стабильного состояния - ОГР, к другой стадии развития - ПГР. При этом техническое перевооружение горного предприятия на современном этапе развития комбинированной геотехнологии определяется расширением области внедрения автономных интеллектуальных роботизированных горных машин, не предполагающих присутствие человека-оператора в местах ведения горных работ. Это исключает влияние человеческого фактора на эффективность работ технологического процесса, а целевой функцией применения автономного интеллектуального роботизированного оборудования выступает полнота и комплексность освоения недр (рис. 3, 4).

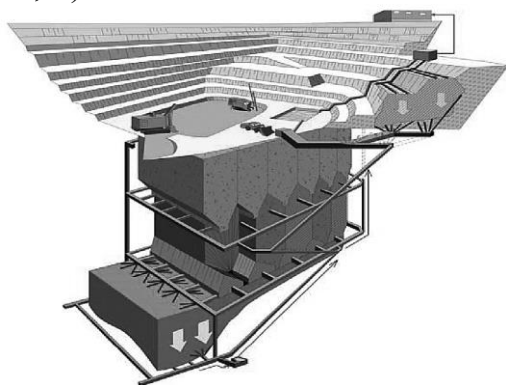


Рис. 2. Горнотехническая система с полным циклом комплексного освоения месторождений металлических руд открыто-подземным способом



Рис. 3. Мобильный РТК МРК-27Х

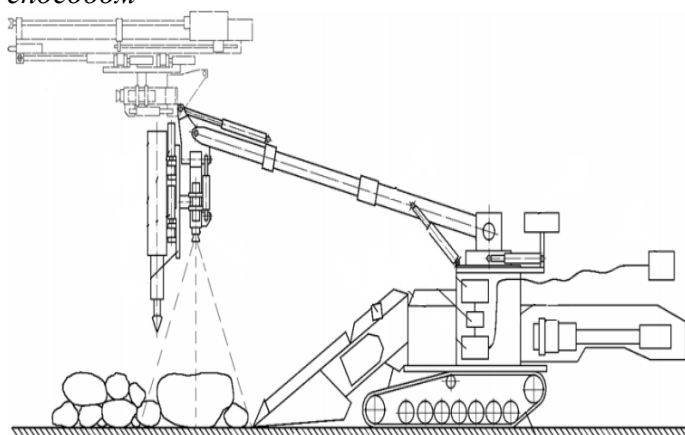


Рис. 4. Роботизированная буропогрузочная машина с нагребными лапами и возможностью раскayловки породы

Многочисленными исследованиями установлено, что автономные мобильные гусеничные машины и роботы находят широкое применение в различных областях промышленного производства, так и непромышленной сфере [1-5]. Чаще всего они функционируют в нестационарных и неопределенных условиях [6-8], поэтому решение проблемы управления движением современного робототехнического оборудования актуально.

Решение обозначенной проблемы заключается в проведении теоретических и экспериментальных исследований и разработке теоретических положений создания управляющих систем для автономных интеллектуальных роботизированных горных машин. Так, на примере шахтной гусенич-

ной бурильной установки, путем адаптации к изменяющимся условиям внешней среды шахты (подземного рудника) рассмотрено построение интеллектуальной системы формирования и реализации маршрута оптимальной и безопасной траектории движения роботизированной гусеничной бурильной установки в подземных горных выработках в соответствии с целевым заданием.

Список литературы

1. Глебов Н. А. Интерактивное управление мобильными робототехническими комплексами // Материалы восьмой Всерос. науч.-практ. конф. «Перспективные системы и задачи управления». Таганрог: изд-во ТТИ ЮФУ. 2013. С. 99–102.
2. Пшихопов В.Х., Али А. С. Обход локальных минимумов функции ошибки на основе позиционно-траекторного управления при движении робота в неопределенной среде // Всерос. науч. школа «Микроэлектронные информационно-управляющие системы и комплексы». Новочеркасск, 2011. С. 175–179.
3. Anh Tuan Le. «Modeling and Control of Tracked Vehicle», Department of Mechanical and Mechatronic Engineering, University of Sydney, Australia, 1999.
4. Глебов Н. А., Притчин С.Б., Маркиянов А.А. Лазерные системы управления мобильными роботами в недетерминированных условиях // Материалы третьей Всерос. науч.-практ. конф. «Перспективные системы и задачи управления». Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2008. Т. 1. С. 148–150.
5. Velikanov, V. S. Mining excavator working equipment load forecasting according to a fuzzy-logistic model / V. S. Velikanov // Journal of Mining Institute. – 2020. – Vol. 241. – P. 29–36.
6. Великанов В. С. Развитие методов оценки и управления эргономичностью горных машин и комплексов на основе нечетко–множественного подхода // Европейская наука и техника, Мюнхен, 10–11 апреля 2013 года. Том 1. – Мюнхен: Vela Verlag Waldkraiburg, 2013. – С. 370–377.
7. Глебов Н. А. Управление движением мехатронных комплексов в неформализованной внешней среде // Изв. вузов Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2008. Спец. вып.: Проблемы мехатроники. С.58 – 63.
8. Моделирование и оптимизация режимов работы горных машин с использованием среды MATLAB / В. С. Великанов, И. Г. Усов, А. А. Абдрахманов, И. И. Усов // Горный журнал. 2017. № 12. С. 78–81.

УДК 622.1

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ДОБЫЧЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Е.А. Тетерин, доцент, **А.В. Тетерин**, доцент

Шахтинский автодорожный институт (филиал) ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова

Предложено внедрение ориентированной на пользователя – сотрудника предприятия, информационно-аналитической системы с целью облегчения и ускорения цифровой трансформации на горном предприятии с минимальным ущербом для кадрового и промышленного потенциала.

Ключевые слова: информационная система, горное предприятие, цифровые технологии, цифровая трансформация

INFORMATION SUPPORT FOR MINING PROCESSES

E.A. Teterin, A.V. Teterin

It is proposed to introduce a user-oriented, employee-oriented, information and analytical system in order to facilitate and accelerate digital transformation at a mining enterprise with minimal damage to human and industrial potential.

Keywords: information system, mining enterprise, digital technologies, digital transformation

Государственная политика в отношении цифровой трансформации промышленных предприятий регламентирует постепенный переход цифровым технологиям и обеспечении производственных процессов цифровыми системами и сетями. Совершить такой переход не используя информационно-аналитические системы практически невозможно. Разработка информационно-аналитической системы – это весьма актуальный и трудоемкий процесс, особенно в области горных предприятий.

В настоящий момент существует достаточно много цифровых продуктов, обеспечивающих горнодобывающую деятельность. У всех таких систем есть один существенный недостаток – узкоспециализированный профессионализированный интерфейс взаимодействия с пользователями. Нередко встречается ситуация, когда опытный горный инженер, профессионал, не может, или испытывает значительные затруднения при работе с цифровыми системами и ГГИС на предприятии. Кроме того, многие программы и системы настолько узкоспециализированы, что не обеспечивают требуемый охват предприятия в целом. В этом случае возникает необходимость активной помощи пользователям при взаимодействии с цифровыми системами как самой ГГИС, так и с системами АСУТП и ERP.

В этом случае, обеспеченность процессов предприятия достаточно хорошая, но со стороны пользователя – сотрудника предприятия, не имеющего образования в области IT, вызывающая большие затруднения и непонимание.

Для постепенного внедрения пользователя в систему цифровых взаимосвязей предприятия необходимо создание горной информационно-

аналитической системы (ПГИАС), управляющей взаимодействием между цифровыми продуктами внутри предприятия и между сотрудниками в упрощенной форме. В этом случае, необходимо также предусмотреть аналитический контроль ведения горной документации, преимущественно не перегружая электронными ресурсами само предприятие. Такую задачу можно реализовать с помощью поддержки технологий нейросетей.

Рассмотрим в рамках этой статьи блок информационной поддержки полевых работ при маркшейдерских измерениях как пример модели инженерного компонента ПГИАС.

Блок информационной поддержки полевых работ при геодезических и маркшейдерских измерениях обеспечивает сопровождение непосредственных инженерных работ (измерений) с выполнением проверок и предварительных расчетов элементов, входящих в итоговый отчет.

Рассмотрим структуру блока на рис. 1.



Рис. 1 – Структура блока информационной поддержки полевых работ при маркшейдерских измерениях

На основе структуры, представленной на рис. 1 формируется функциональная модель в целом. В упрощенной форме представим на рис. 2.

С внешней стороны, доступной пользователю, блок информационной поддержки может предоставить дружелюбный адаптивный плиточный интерфейс и соответственно простые формы заполнения отчетов. Пример исполнения интерфейса представим на рис. 3.

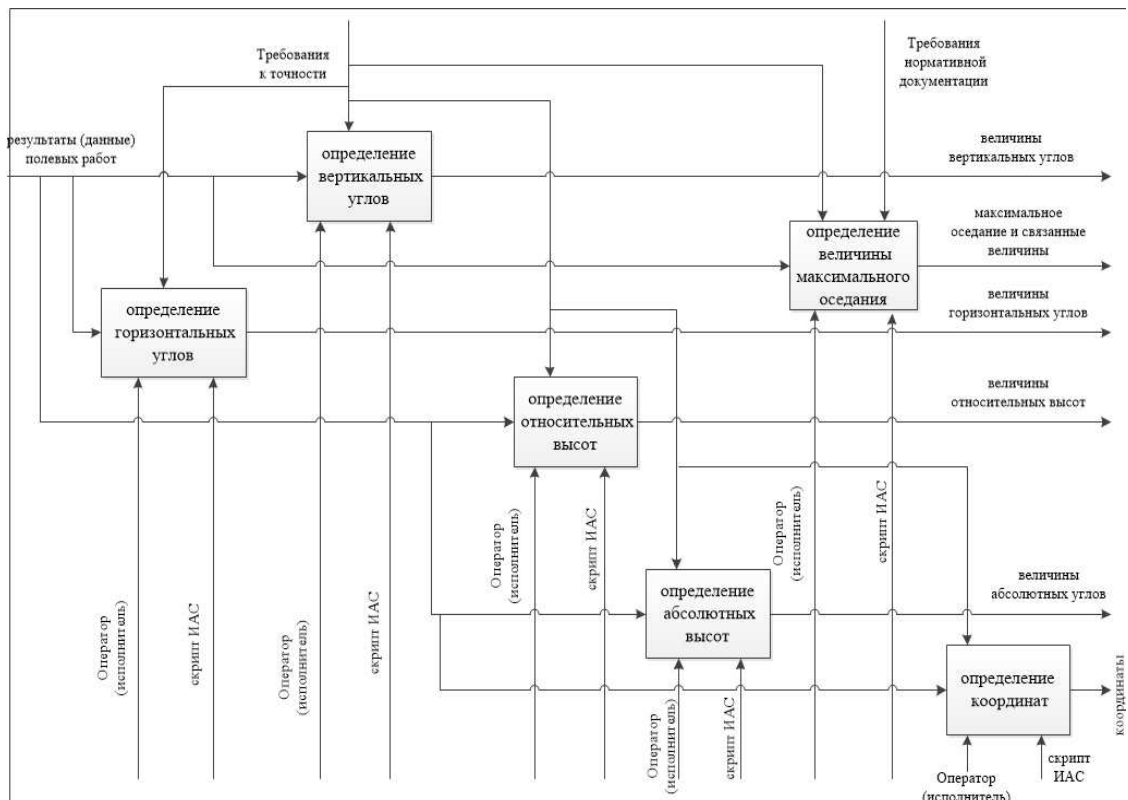


Рис. 2 – Упрощенная функциональная модель блока информационной поддержки

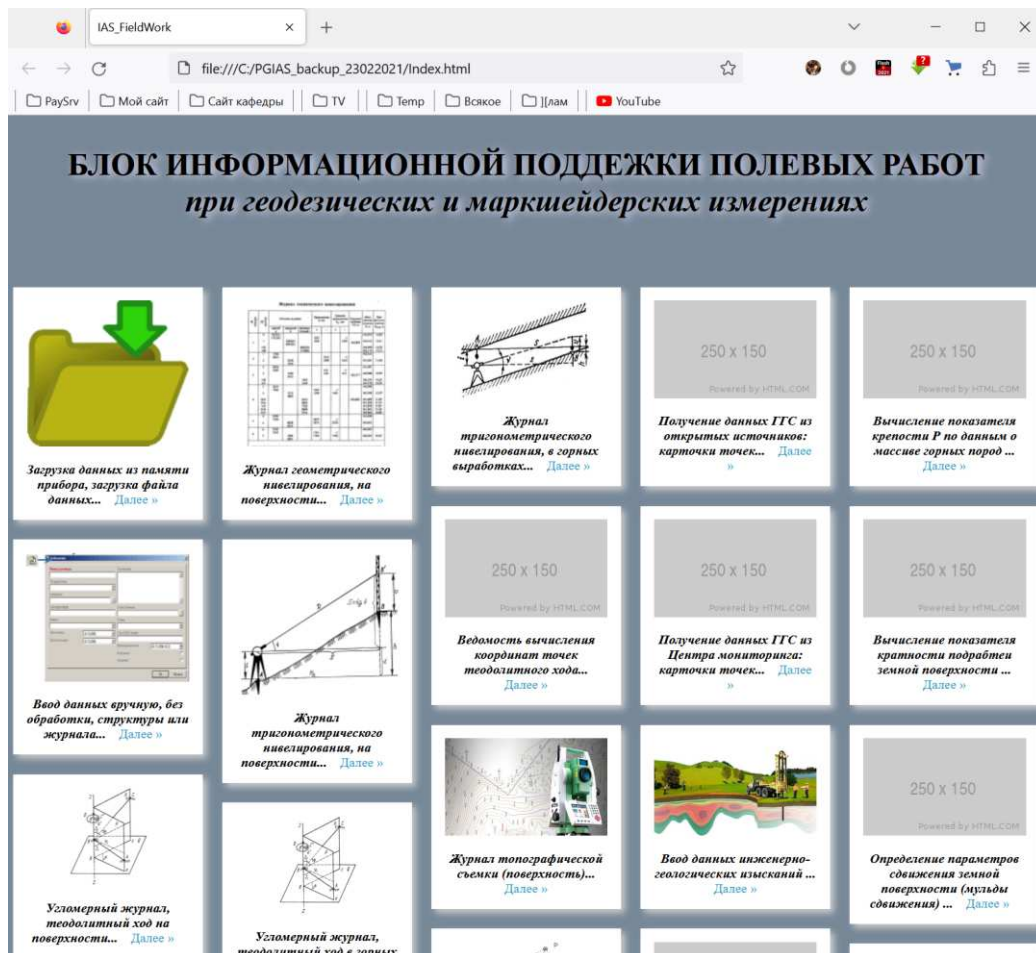


Рис. 3 – Пример пользовательского интерфейса блока информационной поддержки

Внедрение ПГИАС позволяет решить ряд важных задач:

- Упростить взаимодействие сотрудников предприятия с основными цифровыми программами и электронным документооборотом;
- Ускорить процесс цифровой трансформации предприятия в целом;
- Выполнять автоматизированные и ручные проверки эксплуатационных параметров и измерений;
- Снизить нагрузку на серверную инфраструктуру предприятия.

Список литературы:

1. Е.А. Тетерин, А.В. Тетерин. Цифровизация полевых работ при геодезических и маркшейдерских съемках // Современные прикладные исследования: мат. пятой нац. науч.-практ. конф., 17-19 марта 2021г., г.Шахты. В 2-х т. - Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ), 2021. - Т.1 - С.299-303.
2. Е.А. Тетерин, А.В. Тетерин. Исследование архитектуры информационно-аналитической системы при геодезических и маркшейдерских съемках // Современные прикладные исследования: мат. пятой нац. науч.-практ. конф., 17-19 марта 2021г., г.Шахты. В 2-х т. - Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ), 2021. - Т.2 - С.290-296.
3. Колесниченко Н.К. Влияние цифровизации на российскую экономику и общество: преимущества и риски // Самоуправление. - 2021. - №6 (128). - С.302-306; Кузнецов Н.В. Всеобщая цифровизация и социальные риски // Общество: политика, экономика, право. - 2020. - №10 (87). – С.42-47; Люева А.М., Казова З.М. Цифровизация и ее влияние на российскую экономику // Известия кабардино-балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. – 2020. – №4 (30). – С.141-146.
4. Цифровые технологии в российских компаниях. Результаты исследования. Январь 2019г. КПМГ. – 2019. – С.13. – URL: <https://kpmg.ru>

УДК 334.75(075.8)

ПАТЕНТЫ И ИННОВАЦИИ

Ю.В. Холодников, к.т.н., директор
ООО СКБ «Мысль», г. Екатеринбург

Приведены результаты патентных исследований по теме «композиты». Выявлены тенденции развития этого направления на примере четырех стран за последние 12 лет. Дана оценка состоянию композитной отрасли производства в России.

Ключевые слова. Патент, композит, инновации.

PATENTS AND INNOVATIONS

Yu.V. Kholodnikov

The article presents the results of patent research on the topic "composites". The trends in the development of this direction are revealed on the example of four countries over the past 12 years. The assessment of the state of the composite industry in Russia is given.

Keywords. Patent, composite, innovation.

Уникальные эксплуатационные свойства изделий из композиционных материалов, основанные на новаторстве и зависимости от интеллектуальных ценностей, как ключевого источника экономической выгоды и сравнительного преимущества перед аналогами из традиционных материалов, все в большей степени определяется умением изобретать и массово осваивать результаты интеллектуальной деятельности в различных отраслях производственно-хозяйственной деятельности. Без учета возможностей инновационного развития композитной отрасли, невозможно строить планы «догнать и перегнать» мировых лидеров данного направления деятельности, и тем самым занять достойное место на рынке современных технологий и конкурентоспособных видов изделий. Способность создавать и применять инновационные технологии и новые виды изделий является сегодня неременным условием не только экономической независимости и подобающего уровня технического развития, но и эффективного участия страны в глобальной экономике и достойного уровня жизни ее населения.

Новые технологические и технические решения трансформируются в нематериальные активы и осуществляются в виде прав интеллектуальной собственности, которые позволяют (в идеале): защищать интересы участников инновационного процесса, формировать инновационную культуру, расширять инновационную систему за счет интеграции и трансфера технологий между разрозненными организациями, фиксировать систему научно-технических изобретений, привлекать дополнительные инвестиции и позиционировать себя на рынке высоких технологий, стимулировать проявление личностного потенциала в инновационном процессе [1].

Основной формой защиты интеллектуальной собственности в научно-исследовательской и промышленной отрасли производства является патент. Интенсивность разработки новых патентов в определенной степени

отражает интенсивность генерирования в обществе новых знаний, определяя параметры развития экономики и уровень научно-технического развития страны, и как итог - конкурентоспособность выпускаемой продукции.

ООО СКБ «Мысль» с 2008 года периодически проводит патентные исследования по композитной теме, с целью анализа развития данного направления в нашей стране. Поиск патентов по заданной теме проводится в двух направлениях:

- поиск патентов РФ по российской (национальной) патентной базе данных, отбор патентов по названиям на соответствие теме поиска;
- поиск патентов США, Германии, Китая и (для сравнения) РФ по единой методике в той же патентной базе данных.

Единая методика и единая база данных применены для наиболее наглядного сравнения патентной активности, а также исключения издержек, связанных со спецификой работы с каждой из национальных баз данных указанных 4 стран.

Поиск патентов США, Германии, Китая и (для сравнения) РФ проводился в сети патентной информации esp@cenet по адресу ru.espacenet.com, дающей возможность доступа к всемирной базе патентной информации и к патентным фондам различных стран и международных организаций. База дает возможность оценить патентную активность не только по количеству выданных патентов, но и по количеству опубликованных заявок, которые впоследствии не все «превратились» в патенты. Таким образом, в результате поиска удалось оценить патентную активность 4 стран по количеству патентных документов, т.е. по количеству и патентов и заявок на патент.

Для единства методики поиска для всех 4 стран применялся один и тот же поисковый запрос с использованием вышеуказанных ключевых слов. Индексы МПК не использовались, т.к. сформулированный поисковый запрос, по нашему мнению, и так определил необходимые рамки запрашиваемой информации.

Количественные результаты поиска патентных документов США, Германии, Китая и (для сравнения) РФ наглядно отражены на рисунке.

Вряд ли нужны какие-то комментарии к этому графику. Можно сколько угодно говорить об инвестициях, инновациях, импортозамещении, составлять республиканские, региональные и отраслевые «дорожные карты» и тому подобное, но «факты упрямая вещь»...

Тем не менее, тема не исчерпана. Как было отмечено выше патент одна из форм нематериальных активов, представляющих собой результат интеллектуальной деятельности, которому предоставлена правовая охрана в соответствии с положениями четвертой части ГК РФ.

Получение патента не самоцель, а один из важнейших этапов инновационной работы, предшествующей коммерциализации (внедрению) результата интеллектуальной деятельности. Сам факт получения патента позволяет [2]:

- использовать в собственном производстве продукции или технологии с включением стоимости результата интеллектуальной деятельности в себестоимость продукции;
- передавать результаты интеллектуальной деятельности иным лицам по лицензионным и другим договорам;
- использовать механизм трансфера технологий внутри предприятия, концерна, корпорации.

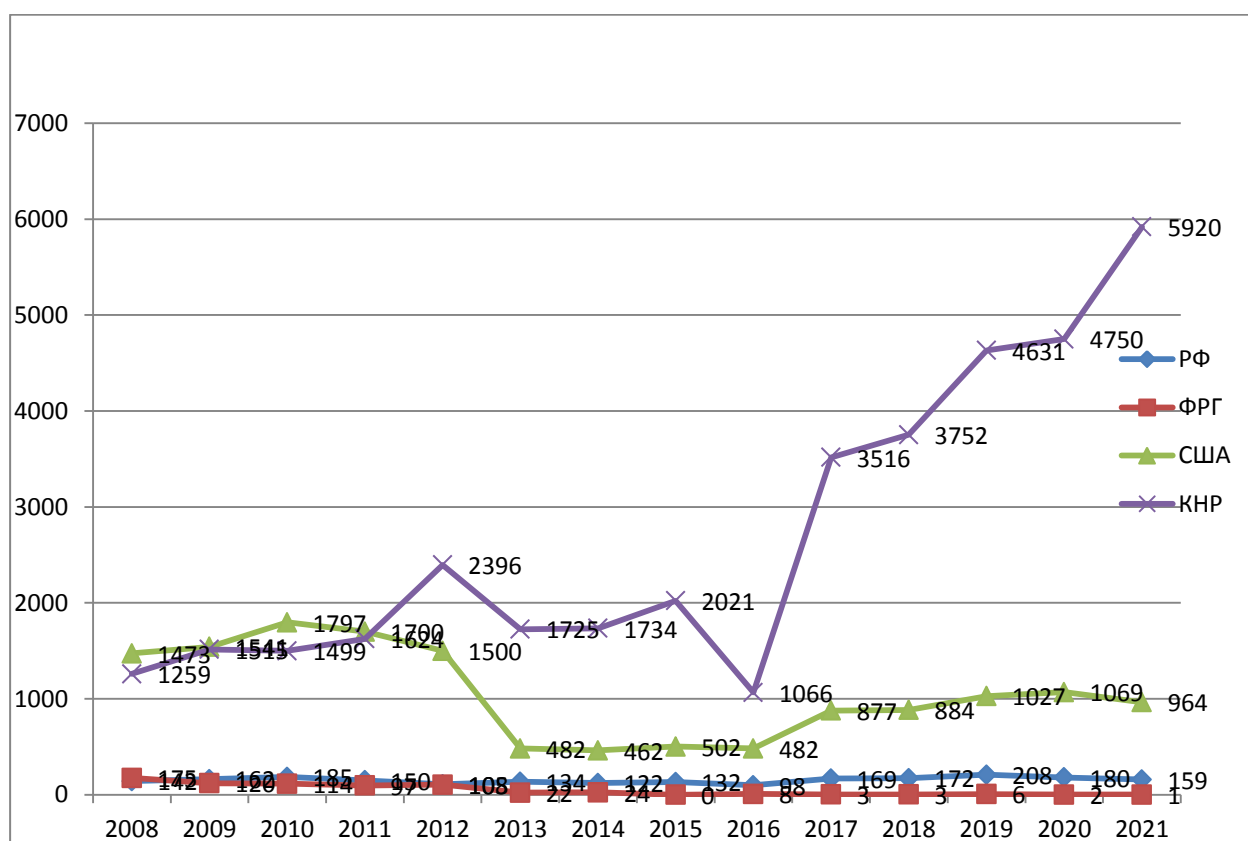


Рис. Результаты поиска патентных документов США, Германии, Китая и РФ

После перехода результата интеллектуальной деятельности в объект интеллектуальной собственности (патент) возможна продажа объекта интеллектуальной собственности или содержащей его продукции за рубежом. Этап коммерциализации объекта интеллектуальной собственности, коммерциализации прав на объект, является определяющим в инновации.

Распространенной формой коммерциализации рассматриваемого объекта собственности является комплекс и последовательность работ через систему НИОКР, которая в общем виде включает в себя:

- интеллектуальная деятельность, эксперименты, теоретические поиски (НИР);
- работы, направленные на разработку конструкторской и технологической документации образца продукции (ОКР);
- иная исследовательская деятельность, задачей которой является получение новых знаний и навыков в конкретной сфере;
- технологические процессы (ТР).

В качестве примера комплексного, научно-обоснованного подхода к проблеме внедрения инноваций в повседневную производственно-хозяйственную деятельность различных отраслей экономики, предложен проект, разработанный в ООО СКБ «Мысль», под названием – «Защита основного технологического оборудования и строительных конструкций от воздействия опасных производственных факторов специальными композиционными материалами», реализуемый в течение последних 20 лет. В ходе реализации этого проекта достигнуты следующие результаты:

- проведены лабораторные исследования стойкости защитных композитных покрытий в различных рабочих средах (кислоты, щелочи, органика и др.). Всего более 100 испытаний;
- выполнены исследования физико-механических и триботехнических характеристик специальных композиционных материалов и покрытий;
- проведены исследования эксплуатационных параметров композитов применительно к конкретным производственным условиям;
- выполнены промышленные испытания различных изделий производственно-технического назначения из спец. композитов;
- проведены испытания новых видов композиционных материалов (смолы, наполнители, армирующие материалы, пигменты, системы отверждения и др.) с целью оценки возможности их применения в изделиях спец. назначения;
- разработаны и исследованы новые способы производства изделий из композитов для реального сектора производства;
- разработана конструкторско-технологическая документация, в состав которой входят:
 - а) ТУ, РД, СТО, инструкции, методики, и т.п., зарегистрированные согласно действующего законодательства – 23 шт.;
 - б) ГОСТ: 55074-2012, 5073-2012, 54927-2012, 32662-2014;
 - в) конструкторская документация на более чем 60 видов изделий;
 - г) сертификаты соответствия – 15 шт.;
 - д) статьи в специализированных журналах, сборниках – более 80;
 - е) книги, монографии по композитной теме – 6 наименований.

Список литературы

1. Жилина И.Ю. «Инновационное развитие и роль международной патентной системы». / cyberleninka.ru.
2. «Рынок интеллектуальной собственности в России: конкурентоспособность российских компаний»/ АО АК «Деловой профиль», 2022 г.

Машины и оборудование для открытых и подземных горных работ

***Чтобы в недра проникнуть глубже,
Чтобы вскрыть любой карьер,
С ними быть в глубокой дружбе
Каждый должен инженер!***

Доц. П.А. Жиганов

УДК 622.271

ЗАПЫЛЕННОСТЬ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ КАРЬЕРНОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭКСКАВАТОРА И ИЗМЕНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ СОПРЯЖЕНИЯ ШТОК-УПЛОТНЕНИЕ

Агагена Абдельвахаб, аспирант

Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

В работе показан результат лабораторного эксперимента по абразивному изнашиванию в паре шток-уплотнение гидроцилиндра карьерного гидравлического экскаватора в условиях запыленности рабочей зоны мелкой железорудной пылью. После проведения эксперимента в режиме граничного трения на поверхности штока появились горизонтальные бороздки в результате царапающего действия твердых частиц железорудной пыли.

Ключевые слова: гидравлический экскаватор, железорудная пыль, шток гидроцилиндра, граничное трение, царапание

DUST CONDITION IN THE WORKING AREA OF A MINING HYDRAULIC EXCAVATOR AND A CHANGING IN THE STATE OF THE ROD-SEAL COUPLING

Agaguena Abdelwahab

Saint Petersburg mining university, Russia

The paper shows the result of a laboratory experiment on abrasive wear in a pair of rod-seal of a hydraulic cylinder of a mining hydraulic excavator in a dusty working area with fine iron ore dust. After the experiment in the mode of boundary friction, horizontal grooves appeared on the surface of the rod as a result of the scratching action of solid particles of iron ore dust.

Keywords: hydraulic excavator, iron ore dust, hydraulic cylinder rod, boundary friction, scratching

В технологии добычи железной руды применяются карьерные гидравлические экскаваторы для погрузки взорванной массы в автосамосвалы.

Развитие металлургической промышленности Алжира зависит от добычи железной руды. На карьерах и разрезах Алжира применяется значительное количество гидравлических экскаваторов Hitachi EX-3600. При этом наблюдается значительное количество отказов элементов гидросистемы экскаватора: гидроцилиндров ковша, рукояти, стрелы, разрыв шлангов высокого давления, выход из строя двигателей и др. [1, 2].

Рабочая зона экскаватора характеризуется присутствием в воздухе значительного количества мелкодисперсной железорудной пыли [3]. В каждом рабочем цикле абразивная пыль оседает на поверхностях штоков гидроцилиндров, гидроманипулятора экскаватора вызывая повышенное изнашивание поверхности штоков и уплотнений. Этот процесс характерен для экскаваторов, работающих в условиях жаркого сухого климата [4].

Основная причина потери работоспособности гидроцилиндров – нарушение герметичности в парах трения цилиндр-поршень и грундбукса-шток из-за ускоренного абразивного изнашивания уплотнений штоков гидроцилиндра [4]. Гидроцилиндры гидравлического карьерного экскаватора относятся к восстанавливаемым изделиям, которые после изнашивания могут быть возвращены в исправное работоспособное состояние для

выполнения требуемых функций. Изменение состояния сопряжения штоку-уплотнение носит постепенный характер вследствие изнашивания пары трения при наличии в рабочей среде мелкой абразивной пыли. В процессе изнашивания важную роль играют не только высота и форма микронеровностей, их расположение относительно направления скольжения поверхностей [5]. В этом случае при расположении неровностей, перпендикулярно направлению скольжения в паре трения они могут быть аккумуляторами мелких абразивных частиц железорудной пыли. В паре штоку-уплотнение возникает граничное трение при слое смазки малой толщины (менее 0,1 мкм). Свойства этого масляного слоя отличаются от объемных свойств, а сила трения зависит только от природы и состояния пары трения [5].

Проведен эксперимент по определению влияния железорудной пыли на поверхность штока гидроцилиндра в лабораторных условиях (рисунок).

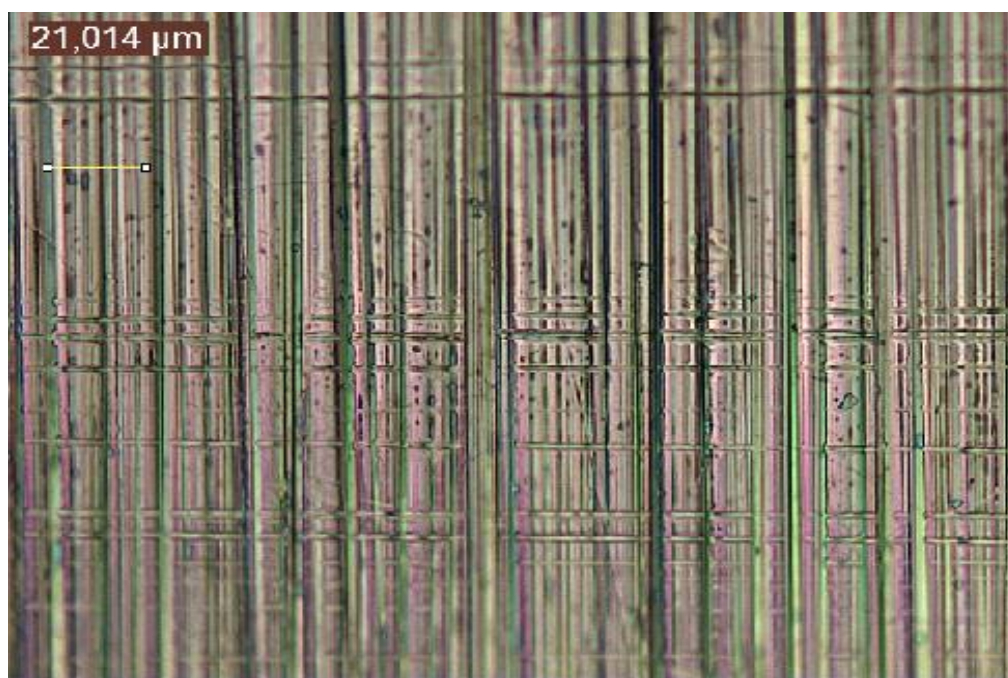


Рисунок. Изображение поверхности штока после испытаний на изнашивание (металлографический микроскоп Leica DM ILM с суммарным увеличением 20х)

При разрушении граничного слоя, а также при оседании на него мелких абразивных частиц железорудной пыли нагрузка превышает силы сцепления и в точках контакта возникает сухое трение, приводящее к задирам. Изнашивание сопровождается также схватыванием, глубинным вырыванием материала уплотнения штока под действием контактных нагрузок и царапающего действия твердых частиц пыли (рисунок).

На рисунке видны технологические неровности поверхности штока, полученные после механической обработки и расположенные перпендикулярно направлению скольжения в паре трения. После проведения экспери-

мента на поверхности штока появились горизонтальные бороздки в результате царапающего действия твердых частиц железорудной пыли.

В связи с этим существенным резервом в повышении ресурса пары шток-уплотнение является снижение концентрации пыли в рабочей зоне силовых гидроцилиндров экскаватора.

Заключение

Проведенные эксперименты показали, что состояние поверхности штока гидроцилиндра может быть охарактеризовано с помощью методов фотометрии. Полученные результаты следует учитывать при теоретических и экспериментальных исследованиях, связанных с процессами изнашивания поверхности штока гидроцилиндра карьерного экскаватора при погрузке железной руды в запыленных условиях.

Список литературы

1. Величко С.А. Прогнозирование среднего ресурса гидроцилиндров, отремонтированных с восстановлением деталей электроискровым методом / С.А. Величко // Труды Госнिति. – 2015. – Т. 120.
2. Гидравлика и гидропривод / Н.С. Гудилин [и др.]; ред. И.Л. Пастоев. – 4-е. – М.: Изд. «Горная книга», 2007. – 519 с.
3. Влияние шероховатости рабочих поверхностей системы колесо-рельс карьерных локомотивов на реализуемый коэффициент сцепления / А.М. Керопян [и др.] // Трение и износ. – 2019. – Т. 40. – № 1. - с. 95-102.
4. Севагин, С.В. Обеспечение требуемого качества изготовления штоков гидроцилиндров погрузочно-доставочных машин / С.В. Севагин, А.П. Вержанский // Горный Информационно-Аналитический Бюллетень. – 2021. – № 5.- с. 35-44.
5. Трение, изнашивание и смазка: Справочник: в 2-х кн., кн. 1 / Под ред. И. В. Крагельского, В. В. Алисина. – М.: Машиностроение, 1978. – 400 с.

УДК 622.232

УДЕЛЬНЫЕ ЗАТРАТЫ ЭНЕРГИИ НА РАБОТУ СООСНЫХ РОТОРОВ ПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА

Басалай Г.А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Представлены результаты натурных экспериментов на проходческом комбайне при его работе в условиях рудника разрабатываемого Старобинского месторождения калийных солей, проведенных с целью определения нагрузок на зубках от сил сопротивления резанию породы, а также удельных затрат энергии на работу соосных роторов.

Ключевые слова: проходческий комбайн, соосные роторы, привод, удельные затраты энергии

SPECIFIC ENERGY CONSUMPTION FOR THE OPERATION OF COAXIAL ROTORS OF TUNNELLING MACHINE

Basalai R.A.

The results of full-scale experiments on a tunneling machine during its operation in the conditions of the mine of the Starobinskoye potash salt deposit under development, carried out in order to determine the loads on the cutters from the forces of rock cutting resistance, as well as the specific energy consumption for the operation of coaxial rotors, are presented.

Keywords: tunneling machine, coaxial rotors, drive, specific energy consumption

На рудниках ОАО «Беларуськалий» при разработке месторождений калийных солей широко используются проходческие комбайны с соосными роторами [1, 4]. Основное назначение комбайнов – проходка подготовительных выработок арочной формы при формировании шахтных полей для отработки плодородных пластов очистными комплексами. В рабочем режиме комбайна фрезерование массива горных пород осуществляется соосными роторами, бермовыми фрезами и отрезными коронками.

Цель работы – проведение серии натурных экспериментов и на их основе определение нагрузок на зубках, а также удельных затрат энергии на работу соосных роторов.

Испытания выполнены в соответствии с технологическим режимом работы комбайна при проходке подготовительных горных выработок на руднике 5РУ ОАО «Беларуськалий». В качестве объекта испытаний использован серийный проходческий комбайн КРП-3-66/1140 производства ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством». На этом комбайне установлены датчики для регистрации ряда параметров, характеризующих работу механизмов машины, в том числе, токов и напряжений питания основных звеньев исполнительного органа.

Кинематические параметры процесса разрушения породы резцами режущих роторов определялись путем измерения времени проходки машиной расстояния 1,0 м с последующим вычислением скорости подачи, а также толщины стружки, снимаемой резцами.

Так как электрогидромеханический привод гусеничного движителя комбайна КРП-3 позволяет реализовать четыре скорости его перемещения (подачи) в рабочем режиме, то эксперименты выполнены с трехкратной повторностью для каждого из четырех режимов.

При резании каждый резец двигается по своей окружности. Тогда моменты будут равны сумме элементарных моментов прикладываемых к каждому резцу

$$M_1 = F \cdot R_1 + \dots + F \cdot R_n = F \cdot \sum R_i; \quad (1)$$

$$M_2 = F \cdot r_1 + \dots + F \cdot r_n = F \cdot \sum r_i. \quad (2)$$

Здесь R_1 , R_n и R_i – радиусы окружностей движения резцов на четырехлучевом (внешнем) роторе, r_1 , r_n и r_i – радиусы окружностей движения резцов на трехлучевом (центральном) буре и забурнике, F – средняя сила резания на каждом из резцов

$$F = (N - N_n) / (\sum R_i + \sum r_i). \quad (3)$$

Зная толщину стружки представляется возможным вычисление сопротивляемости резанию калийной руды, полученное непосредственно в забое при работе комбайна.

В результате проведения серии экспериментов на проходческом комбайне получены значения средних величин мощности на привод соосных роторов при фрезеровании зубками массива горной породы (сильвинит, галит, карналит) сплошным забоем с одновременной погрузкой отбитой массы ковшами внешнего ротора на ленточный конвейер в четырех режимах работы комбайна, характеризующихся различной скоростью подачи его на забой.

Главными особенностями работы зубков, закрепленных как на центральном, так и на внешнем роторах (рис. 1), являются:

- обеспечивается постоянство толщины стружки на всех зубках – от центральных до периферийных;
- имеется прямая зависимость толщины h_c снимаемой стружки от скорости v_n подачи комбайна;
- шаг b_3 установки зубков по радиусу на забурнике, центральном и внешнем роторах одинаков и равен $b_3 = 65$ мм, что эквивалентно ширине кольцевой полосы забоя, обрабатываемой каждым зубком центрального ротора с забурником, а также двумя зубками внешнего ротора;
- на центральном роторе 15 зубков на трех лучах закреплены равномерно по радиусам, образуя схему – один зубок в линии резания (15 линий резания);
- на внешнем роторе (крестовине с ковшами) 10 зубков, образуют 5 линий резания, при этом в каждой из них диаметрально закреплено по два зубка, что дает основание считать, что толщина снимаемого слоя этими зубками в два раза меньше по отношению к толщине слоев, снимаемых зубками центрального ротора.

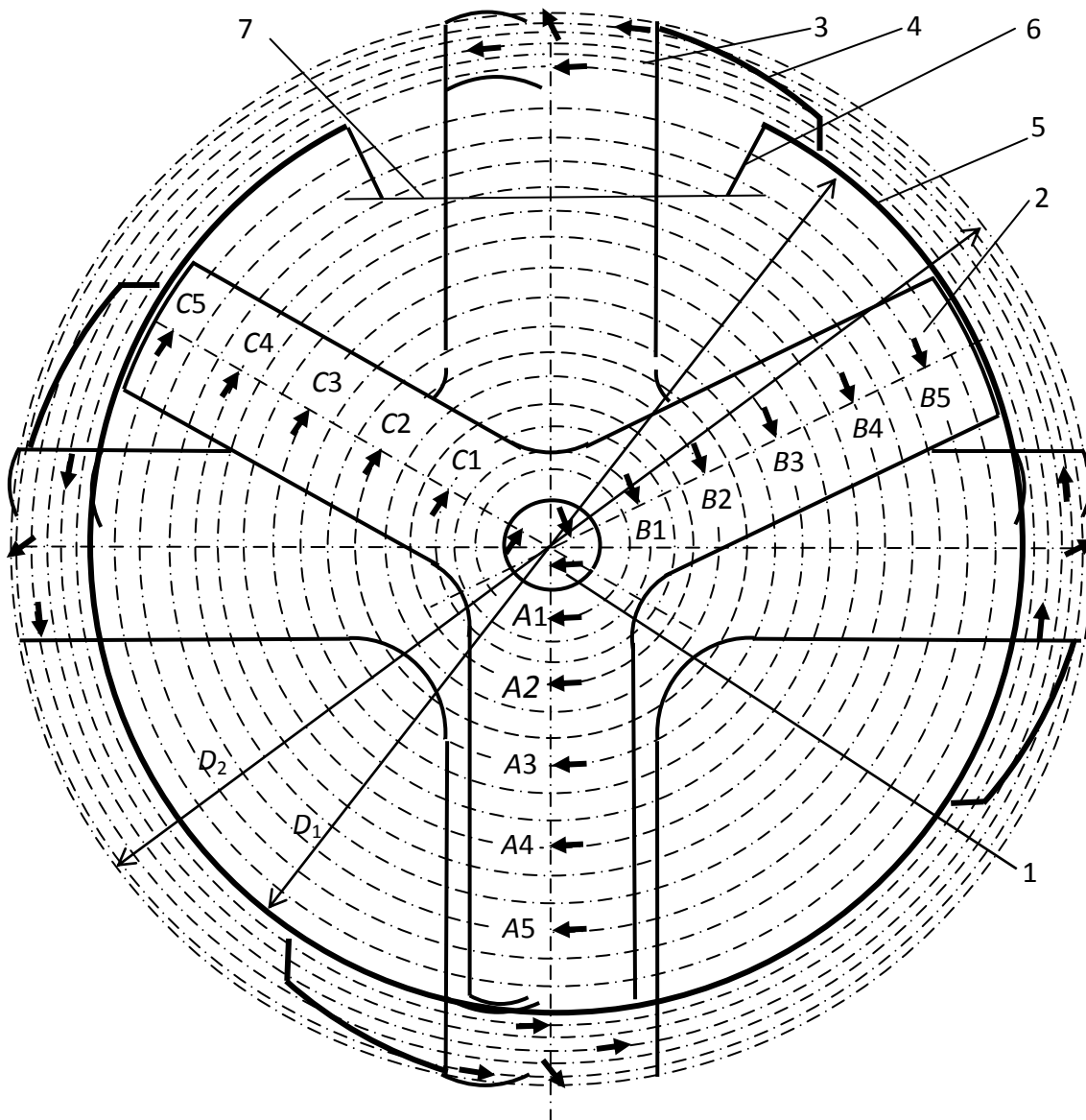


Рис. 1. Расположение зубков на центральном и внешнем роторах проходческого комбайна типа КРП-3

1 – центральный забурник; 2 – трехлучевой бур (лучи А, В, С);
 3 – четырехлучевой ротор; 4 – ковши; 5 – цилиндрический кожух;
 6 – загрузочная воронка; 7 – рабочая ветвь конвейера

Исходя из принципиальной схемы расстановки зубков на роторах принято, что на формирование суммарного момента сопротивления фрезерованию породы оказывают влияние моменты сопротивления фрезерованию от каждого зубка, расположенного на определенной линии резания. Принимая во внимание то, что толщина стружки и ширина линии резания для всех зубков одинаковы, можно допустить, что и силы сопротивления резанию на всех зубках также одинаковы.

В свою очередь, затраты энергии в единицу времени на каждом зубке определялись с учетом их линейных скоростей резания.

Обработка данных, полученных при непосредственном измерении работы комбайна в забое, выполнялась с применением программы PowerGraph, в состав которой входит библиотека функций обработки сигналов, обеспечивающих выполнение всех операций, необходимых для обработки результатов измерений.

Результаты расчета средней силы сопротивления резанию на каждом зубке при четырех скоростях подачи комбайна сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Результаты расчета средней силы сопротивления резанию

№ режима подачи	Повторность эксперимента на определенном режиме подачи	Скорость подачи комбайна на забой, м/с	Мощность на резание, кВт	Среднее значение силы сопротивления резанию породы на одном зубке, кН
1	1.1	0,122	82,82	4,07
	1.2	0,101	81,61	4,04
	1.3	0,121	81,61	4,04
2	2.1	0,133	88,72	4,44
	2.2	0,136	85,00	4,25
	2.3	0,133	89,96	4,25
3	3.1	0,167	97,36	4,46
	3.2	0,171	96,08	4,44
	3.3	0,192	100,54	5,03
4	4.1	0,228	116,75	5,84
	4.2	0,214	114,14	5,71
	4.3	0,203	114,14	5,71

Таблица 2. Удельные затраты энергии на работу роторов

№ режима подачи	повторность	Sl + Spr кВ·А	$\cos\varphi \cdot \eta_{дв} \cdot \eta_{ред}$	Мощность на резание и погрузку, кВт	Подача, v_n , м/с	Производительность, Q_{xi} м ³ /с	Удельные затраты энергии на работу роторов, e_p кВт/м ³
1	1.1	137	(0,87·0,94·0,8 = 0,654)	89,63	0,00203	0,01437	6237
	1.2	143		93,52	0,00222	0,01566	5972
	1.3	153		100,06	0,00278	0,01966	5090
	1.4	179		117,07	0,00380	0,02685	4360
2	2.1	135		88,29	0,00168	0,01189	7426
	2.2	137		89,60	0,00227	0,01601	5596
	2.3	151		98,75	0,00285	0,02014	4903
	2.4	175		114,45	0,00357	0,02520	4541
3	3.1	135		88,29	0,00202	0,01425	6196
	3.2	145		94,83	0,00222	0,01566	6056
	3.3	158		103,33	0,00320	0,02261	4570
	3.4	175		114,45	0,00338	0,02391	4787

Удельные затраты энергии на работу (резание и погрузку породы) соосных роторов определены по формуле (4) и представлены в таблице 2.

$$e_p = N_i / (Q_{xi}) = N_i / (v_{pi} \cdot \pi \cdot R_2^2). \quad (4)$$

Вывод. В результате выполненных натуральных экспериментов на проходческом комбайне при различной скорости подачи его на забой получены средние значения сил сопротивления резанию породы на одном зубке, а также удельные затраты энергии на работу роторов.

Список литературы

1. Горные машины: учебное пособие. В 2 ч. Ч. 2. Машины и комплексы для добычи полезных ископаемых / Г.В. Казаченко, В.Я. Прушак, Г.А. Басалай. – Минск: Вышэйшая школа, 2018. – 228 с.
2. Устройство и эксплуатация проходческого комбайна ПКС-8М / В.А. Данилов [и др.]; под ред. В.Я. Прушака. – Мн. : Тэхналогія, 2010. – 175 с.
3. Горные машины. Практикум: учебное пособие. / Г.В. Казаченко, Г.А. Басалай, Г.И. Лютко. – Минск: Вышэйшая школа, 2020. – 200 с.
4. Басалай, Г.А. Анализ работы ковшового погрузочного устройства проходческого комбайна // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности : сборник трудов XVI МНТК «Чтения памяти В. Р. Кубачека», проведенной в рамках Уральской промышленной декады 12-13 апреля 2018 г. / Под общ. ред. Ю.А. Лагуновой. – Екатеринбург, Уральский государственный горный университет, 2018. – С. 20-23.

УДК 622.2

ОБЗОР ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ КОВШЕЙ ЭКСКАВАТОРОВ

В.С. Бочков, зав. каф., **С.В. Ситдикова**, ст. преп.,
К.В. Бочкова, асп., **М.О. Горбова**, асп.

Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

Рассмотрены современные конструкции ковшей, условия работы, тенденции и направления развития ковшей экскаваторов. Возрастающие объемы добычи полезных ископаемых требуют разработки и внедрения более производительных машин для открытых горных работ. В настоящее время для вскрыши и добычи полезных ископаемых на карьерах и угольных разрезах применяют экскаваторы (канатные, гидравлические), драглайны, цепные и роторные экскаваторы. Основным видом рабочего оборудования на экскаваторах является ковш. Совершенствование конструкции, материалов изготовления и оптимизация вместимостей ковшей для определенных горно-геологических условий имеют важное практическое значение.

Ключевые слова: конструкция, зубья, ковш, экскаватор, прямая лопата, срок эксплуатации.

OVERVIEW OF TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF EXCAVATOR BUCKETS

V.S. Bochkov, S.V. Sitdikova, K.V. Bochkova, M.O. Gorbova

In this paper, modern bucket designs, working conditions, trends and directions of development of excavator buckets are considered. The increasing volumes of mining require the development and implementation of more productive machines for open-pit mining. Currently, excavators (rope, hydraulic), draglines, chain and rotary excavators are used for stripping and mining in quarries and coal mines. The main type of working equipment on the excavator data is a bucket. The improvement of the design, materials of manufacture and optimization of bucket capacities for certain mining and geological conditions are of great practical importance.

Keywords: construction, teeth, bucket, excavator, straight shovel, service life.

В настоящее время, разработаны конструкции ковшей экскаваторов, предназначенные для взаимодействия с влажными средами [1, 2], в которых предусмотрено специальное устройство (очистной узел) для принудительной очистки внутренней полости ковша (патент РФ № 2287640, от 24.05.2005). Технический результат - повышение эффективности работы машин и оборудования с рабочим органом ковшового типа, предназначенным для взаимодействия с влажными связными средами. Ковш экскаватора включает корпус с задней, передней и боковыми стенками, поворотное днище и соединенный с ним при помощи шарнирных тяг очистной узел, выполненный в виде повторяющей внутренней профиль ковша замкнутой рамки с двухсторонними режущими кромками, которая установлена при помощи закрепленных на корпусе продольных направляющих (рис. 1). Кроме того, обращенная к днищу режущая кромка рамки имеет угол заострения, больший угла заострения другой режущей кромки рамки, а продольные направляющие выполнены в виде ласточкина хвоста. Замкнутая рамка очистного узла состоит из частей переменной длины, телескопически связанных между собой, каждая из шарнирных тяг выполнена в виде плунжерного гидроцилиндра с ограниченным перемещением плунжера, в поршневой полости которого

установлена перегородка, разделяющая ее на верхнюю полость, по периметру которой в корпусе гидроцилиндра выполнены радиальные отверстия, и нижнюю полость, соединенную с гидроаккумулятором через противоточный обратный клапан, а с верхней полостью - через прямоточный обратный клапан.

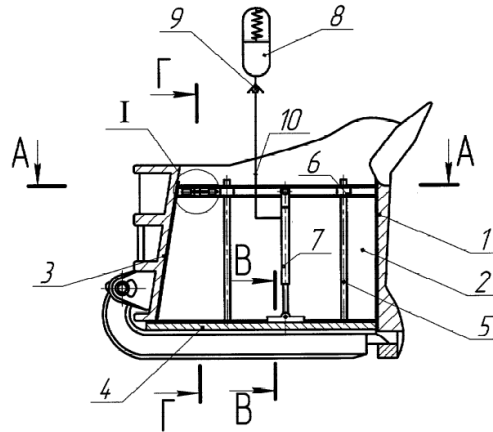


Рис. 1. Ковш экскаватора с очистным узлом

Существуют [2] конструкции с возможностью регулировки объема ковша в процессе эксплуатации (патент РФ № 2349712, от 24.02.2004). Технический результат – уменьшение стоимостных затрат, а также возможность легко и на месте работы регулировать объем ковша. Ковш для экскаватора или погрузчика содержит неподвижную конструкцию (рис. 2), образующую жесткий внешний элемент, и один или более подвижных элементов, которые являются дополнительными к неподвижной конструкции и выполнены с возможностью скольжения внутри нее с помощью адаптированных устройств. Причем адаптированные устройства образованы поршнями, прикрепленными как к неподвижной конструкции, так и к подвижным элементам таким образом, чтобы активировать их совместное перемещение. Скользящие направляющие расположены параллельно направлению продвижения поршней. При этом ковш имеет контур, который позволяет осуществить присоединение штока соответствующего поршня, но оставляет свободным пространство для перемещения противоположного штока и позволяет осуществить присоединение соответствующих скользящих направляющих.

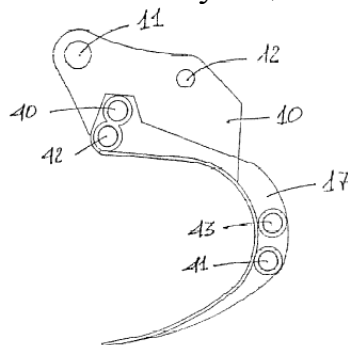


Рис. 2. Неподвижная конструкция ковша с регулируемым объемом.

Известна [2] конструкция ковша для дробления и просеивания камней и аналогичных материалов (патент РФ № 2292423, от 29.08.2002). Техническая задача - эффективность и производительность операции дробления, незначительное засорение из-за блокировки обрабатываемым материалом. Ковш для дробления и просеивания камней содержит ковшеобразный корпус, имеющий входное отверстие для камней, подлежащих дроблению, и выходное отверстие для раздробленных камней, между которыми проходит направление потока камней, а также средство для дробления камней (рис. 3). Средство для дробления камней содержит первое зажимное приспособление и второе зажимное приспособление, размещенные в ковшеобразном корпусе, подвижные относительно друг друга, и средство для их перемещения. Средство перемещения содержит эксцентрик и приводное средство для приведения эксцентрика. Приводное средство включает в себя гидравлический двигатель, соединенный с помощью ременной передачи с валом, установленным на ковше и несущим один эксцентрик, для вращения вала между двумя крайними положениями, которые отстоят на 180° поворота вала, так что средства перемещения могут передавать первому зажимному приспособлению комбинированное вращательное и поступательное движение относительно второго зажимного приспособления, причем первая составляющая перемещения направлена от и ко второму зажимному приспособлению, а вторая составляющая перемещения по существу параллельна направлению потока.

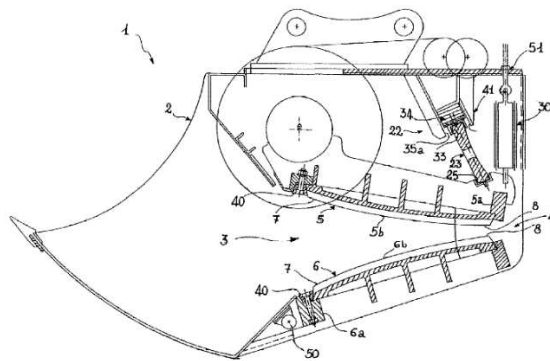


Рис. 3. Конструкция ковша для дробления и просеивания камней

Также известна [3] конструкция ковша для драглайна, в которой за счет изменения конструкции и геометрии ковша повышена производительность экскаватора-драглайна и снижено время заполнения ковша грунтом (патент РФ № 2369694, от 23.04.2008). Ковш экскаватора-драглайна (рис. 4) содержит корпус 1, имеющий днище 2, V-образный козырек 6 с передним зубом 7 и режущую кромку 8 с зубьями 9. Днище 2 выполнено составным из подвижной 3 и неподвижной части. Подвижная часть 3 днища 2 соединена с корпусом 1 с возможностью изменения углового положения относительно горизонтали. По бокам с внутренней стороны корпуса 1 установлены две пружины 4, закрытые эластичным

резиновым кожухом 5, причем нижний конец каждой из двух пружин 4 соединен с подвижной частью 3 днища 2, а верхний - с корпусом 1.

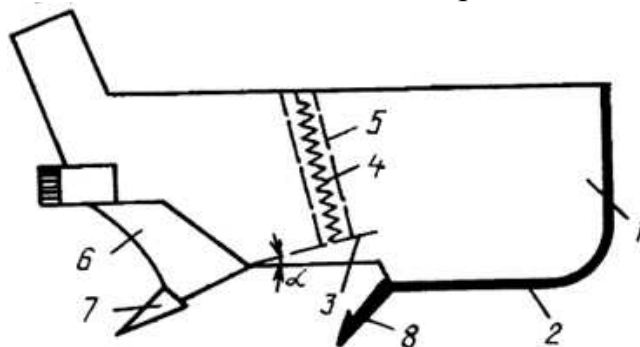


Рис. 4. Конструкция ковша экскаватора-драглайна

Выводы

В результате рассмотрения представленных в данной работе конструкций ковшей, можно выделить следующие направления совершенствования конструкций ковшей:

- совмещения в ковше нескольких технологических операций (например, отделение полезного ископаемого от массива с последующим его дроблением);
- возможность изменения объема ковша в процессе эксплуатации. Разработки в данном направлении выглядят весьма перспективными, т.к. позволяют достичь оптимальной производительности и энергоемкости при заданных горно-геологических условиях, за счет выбора оптимального объема ковша и коэффициента его заполнения;
- использование различных приспособлений для отделения влажных сред, налипших в процессе эксплуатации, в конструкции ковша. Данная проблема является достаточно острой, т.к. при налипании влажных сред на внутреннюю поверхность ковша снижается его объем, соответственно снижается производительность. Ручная очистка ковша приводит к большим затратам и потерям рабочего времени;
- изменение геометрии и конструкции ковша для повышения его производительности и снижения времени заполнения ковша грунтом;

Список литературы

1. Подэрни Р. Ю. Механическое оборудование карьеров / Р. Ю. Подэрни. - Изд. 7-е, перераб. и доп. - Москва : Майнинг Медиа Групп, 2011. - 639 с.
2. Федеральный институт промышленной собственности (ФИПС): [сайт]. URL: <http://www.fips.ru>

УДК 622.271

АНАЛИЗ НЕОБХОДИМОСТИ РАЦИОНАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ЭКСКАВАТОРА

Ш. Бугебрин, аспирант; Д.А. Шибанов, доц.; А.В. Михайлов, проф.
Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

Предложен подход рационального позиционирования экскаваторов на уступе и его рабочего оборудования в пространстве. Для обеспечения минимального времени погрузки транспорта при соблюдении условий безопасной работы необходимо обосновать рациональное расстояние установки экскаватора от забоя и рациональное позиционирование самосвала относительно экскаватора. Также рациональное позиционирование экскаватора и его рабочего оборудования в забое необходимо для обоснования алгоритмов защиты экскаватора от неправильных действий машиниста (защита от ударов ковшом о самосвал, защита от ударов ковшом об элементы экскаватора), определить рациональную и безопасную рабочую зону при копании и разгрузке ковша.

Ключевые слова. экскаватор, процессы копания и погрузки, позиционирование, самосвал.

ANALYSIS OF THE NEED FOR RATIONAL POSITIONING OF THE EXCAVATOR

Bouguebrine Chouaib, Shibanov Daniil, Mikhailov Aleksandr

An approach to the need for rational positioning of excavators on the bench and its working equipment in space. In order to ensure minimum loading time of transport at conditions of safe work it is necessary to substantiate rational distance of excavator installation from the pit and rational positioning of excavator dump truck relatively to the excavator. Also, a rational positioning of the excavator and its working equipment in the working pit is necessary to justify the excavator protection algorithms against improper actions of the driver (protection against the bucket hitting the dump truck, protection against the bucket hitting the excavator elements), to define a rational and safe working area when digging and unloading the bucket.

Keywords. excavator, digging processes, loading process, positioning, dump truck.

При добыче полезных ископаемых открытым способом одноковшовые экскаваторы являются одной из наиболее распространенных и часто используемых машин. Для обеспечения высокой производительности карьерных экскаваторов при постоянном росте объемов добычи, необходимо разработать модель комплексного обоснования положения (позиционирования) экскаватора на уступе и в забое. Использование модели позиционирования экскаватора позволит не только скоординировать работу машины в карьере, но и в заданной рабочей зоне, также оценить рациональное место установки экскаватора в рабочем пространстве для сокращения времени цикла и, как следствие, увеличения производительности [1, 2].

В процессе отработки забоя приходится постоянно переставлять экскаватор. Перестановка необходима, когда дальнейшее извлечение горной массы невозможно. Рациональное позиционирование экскаватора в забое способствует сокращению времени вспомогательных операций и сокращению времени рабочего цикла экскавации.

Также, при рациональном позиционировании экскаваторов при ведении горных работ открытым способом является важным обеспечения без-

опасного положения комплекта выемочно-погрузочного оборудования на уступе во избежание несчастных случаев [3].

Производительность экскаватора зависит от мощности двигателя, вместимости ковша, горно-геологических характеристик породы, характеристик рабочего оборудования экскаватора, от условий эксплуатации в карьере (качество подготовки горной массы, организации горных работ и т. п.) [4].

Экскаватор можно рассматривать как упрощенный механизм с четырьмя степенями свободы. Как правило, производители предоставляют двумерную диаграмму рабочего пространства, на которой представлены позиционные ограничения ковша экскаватора. Критические точки положения определяются вдоль края уступа путем фиксации начального положения ковша экскаватора и отслеживания изменения его положения в пространстве в процессе отработки забоя.

Из анализа позиционирования экскаватора на уступе возможны варианты задания крайних положений, что зависит от комплекса «экскаватор-самосвал»: грузоподъемности самосвала, объема ковша экскаватора, их габаритных и рабочих размеров.

Для экскаватора «обратная лопата» в данном анализе принимается следующее допущения:

- вырабатываемое пространство прямоугольной формы шириной w и длиной l (м), которое должно быть извлечено с определенной глубины h (м). Ожидается, что значение глубины выемки находится в пределах, налагаемых геометрией рабочего оборудования экскаватора (например, для экскаватора E160C значение глубины копания (h) должно быть меньше или равно 5,14 м для стрелы длиной 2,1 м [5].

- экскаватор всегда располагается в точке, лежащей вне границ копания. Данное условие необходимо для расчета системы геометрических положений контрольных точек рабочего оборудования в пространстве.

При определении массива точек следует учитывать следующие параметры: размеры копания w и l , длину пары стрела-рукоять экскаватора RE , координаты (x_E, y_E) точки центра поворота и углы $\theta_E, \theta_R, \theta_L$, определяющие ЭУЗ экскаватора [2, 6].

Основная идея разработки системы позиционирования карьерного экскаватора в дополнение к имеющимся системам – рациональное сочетание условий повышения производительности и безопасности экскаваторно-автомобильного комплекса. Для этого планируется решить следующие задачи:

1. Обосновать рациональное расстояние установки экскаватора от забоя для обеспечения минимального времени цикла. В тоже время обосновать критические положения установки экскаватора для соблюдения условий безопасной работы.

2. Обосновать рациональное позиционирование самосвала относительно экскаватора для снижения времени разгрузки ковша экскаватора и снижения времени на обмен самосвалов.

Заключение

Работа основывается на определении начального и рационального положения экскаватора и его рабочего оборудования в пространстве, для повышения производительности и безопасности экскаваторных работ. Что позволит разработать схему рациональной расстановки датчиков положения рабочего оборудования экскаватора, для создания следящей системы за положением ковша экскаватора в пространстве. Для обоснования алгоритмов защиты экскаватора от неправильных действий машиниста (защита от ударов ковшом о самосвал, защита от ударов ковшом об элементы экскаватора), определить рациональную и безопасную рабочую зону при копании и разгрузке ковша.

Список литературы

1. Singh, S., Cannon, H. (1998). Multi-resolution planning for earthmoving. Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1, 121–126. DOI:10.1109/ROBOT.1998.676332
2. Papachristou, A., Valsamos, H., & Dentsoras, A. (2010). Optimal initial positioning of excavators in digging processes. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part I: Journal of Systems and Control Engineering, 224(7), 835–844. DOI:10.1243/09596518JSCE982.
3. Tyulenev, M. A., Zhironkin, S. A., Litvin, O. I., Tyuleneva, E. A., Zhironkina, O. v., & Markov, S. O. (2017). Safe and Productive Application of Hydraulic Backhoes in Coal-Bearing Areas of Complex Structured Deposits. Geotechnical and Geological Engineering, 35(5), 2065–2077. DOI:10.1007/S10706-017-0228-6/FIGURES/8
4. Tyulenev, M. A., Zhironkin, S. A., Litvin, O. I., Tyuleneva, E. A., Zhironkina, O. v., & Markov, S. O. (1997). State of the Art in Automation of Earthmoving. Journal of Aerospace Engineering, 10(4), 179–188. DOI:10.1061/(ASCE)0893-1321(1997)10:4(179)
5. Гусеничный экскаватор E160C. URL: <https://umg-sdm.com/catalog/gusenichnyy-ekskavatory/e160c-gusenichnyy-ekskavator> (дата доступа 12.02.2023)
6. Molotilov, S. G., Cheskidov, V. I., Norri, V. K., & Botvinnik, A. A. (2009). Methodical principles for planning the mining and loading equipment capacity for open cast mining with the use of dumpers. part ii: engineering capacity calculation. Journal of Mining Science, 45(1), 43–58. DOI:10.1007/S10913-009-0006-9/METRICS

УДК 622.331.001.5:378

ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННОГО КУСКОВОГО ТОРФА

Б.Ф. Зюзин, д.т.н., проф., зав. кафедрой, **А.И. Жигульская**, к.т.н., доцент,
И.Е. Гришин, магистрант

Тверской государственный технический университет, г. Тверь, РФ

Дано сравнение основных качественных характеристик в формировании кускового торфа. Приведена область с минимальными значениями показателя крошимости торфа.

Ключевые слова: кусковой торф, показатели качества, крошимость.

FORMATION OF HIGH-QUALITY LUMP PEAT

B.F. Zyuzin, A.I. Zhigulskaya, I.E. Grishin

A comparison of the main qualitative characteristics in the formation of a lumpy tor-fa is given. The area with the minimum values of the peat crumbling index is given.

Keywords: lump peat, quality indicators, crumblability.

Кусковой торф находит применение в качестве энергогазохимического и коммунально-бытового топлива. Особенно велика его роль в безлесных и труднодоступных районах, где отсутствуют другие источники топлива.

Производство кускового торфа выгодно отличается от производства торфяных брикетов тем, что не требует операций прессования, искусственной сушки и обходится дешевле. Фактором, сдерживающим производство кускового торфа для бытового потребления, является его низкая механическая прочность.

Изыскание способа получения прочного кускового торфа актуально при разработке как залежей низинного типа, на которых пока не удается получить достаточно прочную продукцию из-за трещинообразования в процессе сушки, так и для залежей верхового типа с целью уменьшения энергоемкости процессов механической переработки и формования.

Влияние переработки на качество торфа давно привлекает внимание исследователей. В работе [1] приведен обзор научно-исследовательских работ в области оценки качества формирования кускового торфа.

В настоящее время существуют две группы методов оценки степени переработки. Первая группа основывается на измерении свойств сырца и готовой продукции и служит для определения достаточности переработки торфа-сырца. Вторая группа измеряет интенсивность механического воздействия перерабатывающего устройства на торф-сырец и необходима для установления основных конструктивных расчетных параметров перерабатывающего устройства.

Из методов второй группы следует отметить метод оценки переработки по величине главных деформаций, который определяет зависимость удельной поверхности от степени механического воздействия на торф.

Следует отметить, что при существующих способах добычи мелкокускового торфа до сих пор еще не удается получать удовлетворительную по прочности продукцию из низинного торфа.

Поэтому особую актуальность приобретает разработка способа получения кускового торфа путем добавки небольшого количества интенсивно переработанного торфа к не переработанному или слабо переработанному торфу и метод оценки влияния добавляемой массы на качество торфа, который остается пока неисследованным.

Для характеристики распределения и упрочняющего действия мелкодисперсных частиц был введен «коэффициент относительной площади поверхности», равный отношению суммарной площади частиц размером менее 5 мк, т.е. коллоидных, к площади, образованной частицами размерами, большими 5 мк в единице веса сухого вещества торфа. Коэффициент относительной площади поверхности показывает, во сколько раз площадь поверхности, образованная мелкодисперсными частицами, больше площади поверхности, образованной крупными фракциями $\varphi = F_m : F_k$. По этой величине можно судить о «клеящей» способности мелкодисперсной фракции. В табл. 1 приведены обобщенные результаты экспериментальных исследований [1].

Таблица 1. Оценка качества кускового торфа

№ п.п.	Степень переработки, λ	Удельная поверхность, S_o , см ² /г	Коэффициент относительной площади поверхности, φ	Крошимость, К, %
Торф тростниковый, степень разложения R=20%				
1	0	3000	0,9	100
2	700	5100	1,7	80
3	2600	6600	2,4	7
4	5500	11200	8,4	15
Торф осоково-древесный, степень разложения R=25...30%				
1	0	2400	0,6	100
2	700	4700	1,7	75
3	2600	5700	2,6	10
4	5500	9300	6,5	23

Сравнительная оценка степени переработки (по свойствам торфа) показывает, что оценка степени переработки по величине коэффициента относительной площади поверхности φ более контрастно характеризует интенсивность диспергирования.

По данным табл. 1 наиболее рациональной для обеспечения минимальной крошимости кускового торфа является степень переработки при $\lambda=2600$.

Коэффициент относительной площади поверхности составляет $\varphi=2,4 \dots 2,6$.

При этом можно установить зависимость крошимости от коэффициента относительной площади поверхности φ при различных влажностях

формования и высушивания кускового торфа, которая представляется в виде степенной зависимости:

$$K=a\varphi^{-b},$$

где $a=67...177\%$, $b=0,86...1,84$ – безразмерный коэффициент.

Как показали опытные данные, минимальная крошимость достигается при влажности воздушно-сухого торфа около $W=40\%$.

Зависимость влагопоглощения от коэффициента относительной площади поверхности φ выражается также степенной зависимостью:

$$V=a\varphi^{-b},$$

где $a=193...363\%$, $b=1,08...1,95$ – безразмерный коэффициент.

Влагопоглощаемость очень сильно зависит от степени дисперсности.

Наиболее резко снизилась способность образцов к влагопоглощению при добавке 25 % мелкодисперсной массы к торфу, переработанному в конусном растирателе. Это объясняется тем, что в основной массе торфа были разрушены пустотелые клетки, заполненные водой, однако был сохранен каркас из волокнистых частиц, принимающих на себя наибольшие напряжения, а также имелось достаточное количество мелкодисперсных частиц, обладающих коллоидными свойствами.

Коллоидные частицы при сушке претерпевают необратимые изменения и при высушивании до влажности менее 55% теряют способность впитывать воду. На поверхности куска образуется корка, которая препятствует проникновению влаги внутрь куска.

Из исследуемых видов торфа наибольшее влагопоглощение наблюдается у тростникового торфа, что объясняется особенностями его ботанического состава [2].

Список литературы

1. Зюзин Б.Ф. Влияние механической переработки на качество кускового торфа (обзор). Труды Инсторфа: научный журнал. Тверь: ТвГТУ, 2010. № 1 (54). С. 52 – 54.
2. Зюзин Б.Ф., Жигульская А.И., Юдин С.А. Механика торфа и торфяной залежи. Учебное пособие. Тверь: ТвГТУ, 2020. 112 с.

УДК 622.331.002.5:518.9

КРИТЕРИЙ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Б.Ф. Зюзин, д.т.н., проф., зав. кафедрой, **А.И. Жигульская**, к.т.н., доцент,
Т.Б. Яконовская, к.т.н., доцент

Тверской государственной технической университет, г. Тверь, РФ

Предложен критерий оценки технико-экономической эффективности работы технологического оборудования на примере торфяного производства на основе принципов теории предельных состояний – дистортности.

Ключевые слова: приведенные затраты, критерий эффективности, дистортность.

CRITERION OF TECHNICAL AND ECONOMIC EFFICIENCY OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

B.F. Zyuzin, A.I. Zhigulskaya, T.B. Yakonovskaya

A criterion for evaluating the technical and economic efficiency of technological equipment is proposed on the example of peat production based on the principles of the theory of limit states – distortion.

Keywords: reduced costs, efficiency criterion, distortion.

В статье приведены материалы публикации, в которых уже прослеживаются мотивы использования принципов теории предельных состояний в экономике [1, 2].

Эффективность применения технологического оборудования зависит от природно-климатических условий, характеристики торфяной залежи, уровня качественного состояния поверхности производственных площадей, организации самого технологического процесса, технического состояния оборудования, квалификации обслуживающего персонала и др.

Следовательно, технико-экономическая оценка эффективности машинно-тракторного агрегата конкретна и приемлема только с учетом условий конкретного торфопредприятия [3].

При решении любой задачи, связанной с определением лучшего варианта, зачастую приходится сталкиваться с необходимостью пересмотра, анализа и оценки множества возможных реализаций.

Окончательное решение принимается на основе технико-экономических расчетов, сводящихся к поиску наиболее эффективного варианта. Это возможно на основе применения методов экономико-математического моделирования с использованием ЭВМ.

Основной показатель оценки технико-экономической эффективности – приведенные затраты, отнесенные к единице выполненной работы.

Применительно к комплексу оборудования по добыче фрезерного торфа $P_v = (C_c + EK)/P_{сез}$, где P_v – удельные приведенные затраты на производство единицы продукции, руб./т; C_c – себестоимость производства единицы продукции, руб.; E – нормативный коэффициент окупаемости ка-

питаловложений; K – капитальные затраты, руб.; $P_{сез}$ – сезонная производительность (выработка) технологического оборудования, т.

Сравнительную экономическую эффективность определяют по результатам сопоставления значений удельных приведенных затрат по двум или более вариантам, на основании чего находят величину годового экономического эффекта $\mathcal{E}_\phi = \Delta\Pi_y P_{сез}$, где $\Delta\Pi_y = \Pi_2 - \Pi_1$, Π_2 , Π_1 – значения удельных приведенных затрат по базовому и сравниваемому вариантам.

Оценка эффективности работы технологического оборудования в абсолютных значениях относительно нормативного варианта (рис. 1), позволяет установить, что показатель эффективности \mathcal{E}_ϕ имеет как положительное значение, так и отрицательное.

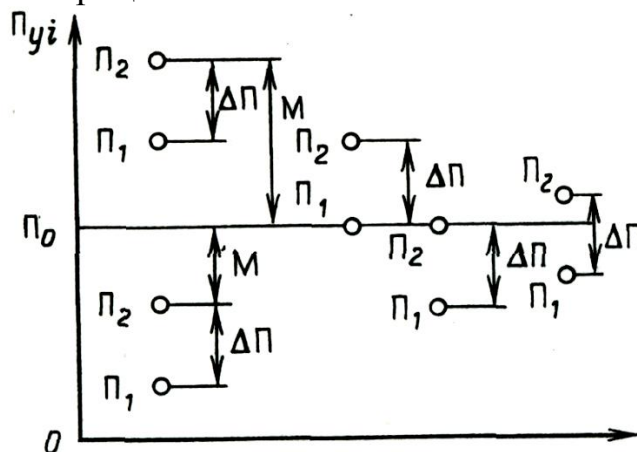


Рис. 1. Определение показателя уровня эффективности

В качестве нормативного уровня оценки изменчивости приведенных затрат может приниматься показатель Π_0 , устанавливающийся по расчетам, нормативным данным с учетом конкретных условий эксплуатации технологического оборудования.

Когда фактическое значение удельных приведенных затрат превышает нормативную величину Π_0 , показатель сравнительной экономической эффективности \mathcal{E}_ϕ по сопоставимым двум вариантам характеризует прирост погашения убытков, издержек производства за счет несовершенства комплекса его технико-экономических параметров.

Существующий подход в определении сравнительной эффективности не отражает рассмотренных тенденций, а характеризует лишь абсолютные размеры разницы значений приведенных затрат.

Следовательно, необходимо ввести понятие показателя уровня экономической эффективности.

Принципиально возможны пять вариантов определения показателя уровня эффективности (рис. 1):

1 – $\Pi_2 > \Pi_1 > \Pi_0$; 2 – $\Pi_0 > \Pi_2 > \Pi_1$; 3 – $\Pi_2 > \Pi_1 = \Pi_0$; 4 – $\Pi_2 = \Pi_0 > \Pi_1$; 5 – $\Pi_2 > \Pi_0 = \Pi_1$.

При расчете показателя уровня эффективности учитывается поправка M , характеризующая нахождение рассматриваемых объектов относи-

тельно регламентированного уровня нормативного значения Π_0 , т.е. $U_3 = (\Delta\Pi + M)/\Pi_0$,

где $M = \Pi_0 - \Pi_2$.

Тогда окончательно имеем $U_3 = 1 - (\Pi_1/\Pi_0)$ (1).

Зависимость носит линейный характер (рис. 2).

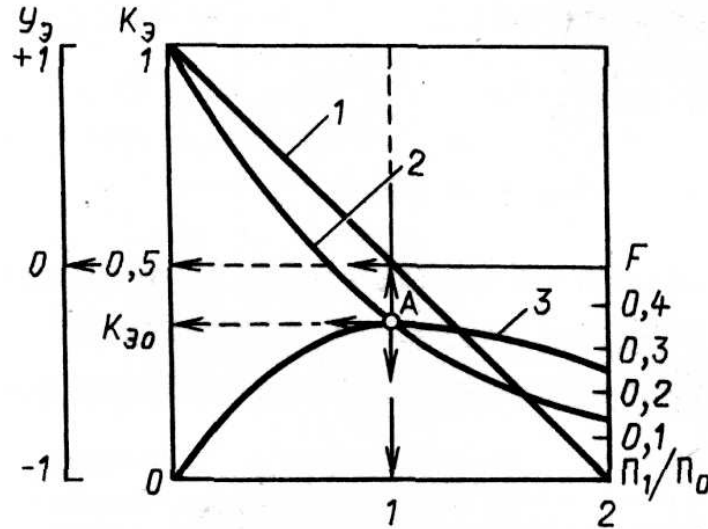


Рис. 2. Оценка уровня эффективности:
 1 – зависимость $U_3 = f(\Pi_1/\Pi_0)$; 2 – критерий оценки $K_3 = f(\Pi_1/\Pi_0)$;
 3 – функция оценки $F = K_3(\Pi_1/\Pi_0)$

В области издержек производства $U_3 < 0$, а в области прибыльного производства $U_3 > 0$. Пределы его изменения составляют $-1 < U_3 < +1$. Здесь качественное изменение состояния объекта отражается сменой знака показателя U_3 . В то же время количественная оценка представляется не совсем наглядной, особенно в области, близкой $U_3 < 0$. Например, значение показателя $U_3 = -0,1$ не дает ощущения роста эффективности, тогда как по существу он наблюдается.

Необходимо иметь такой показатель, который своим значением отражал бы качественный и количественный уровень эффективности.

Можно предположить, что такой обобщенный показатель должен изменяться аналогично изменению рассматриваемого технологического процесса.

На основании выполненных ранее исследований [4] можно полагать, что закономерность изменения данного показателя будет носить экспоненциальный характер.

В этом случае в качестве критерия оценки уровня эффективности принимается показатель $K_3 = e^{U_3}$ или $K_3 = e^{1 - (\Pi_1/\Pi_0)}$ (2).

Этот показатель уже имеет однозначную оценку уровня эффективности: при $\Pi_1/\Pi_0 = 0$, $K_3 = e = 2,718$; при $\Pi_1/\Pi_0 \rightarrow \infty$, $K_3 \rightarrow 0$.

Для удобства оценки приведем значение показателя K_3 к относительной величине (к своему экстремальному значению $K_3 = e$), тогда выражение функции (2) приведенного критерия примет вид: $K_3 = e^{-(\Pi_1/\Pi_0)}$ (3).

На рис.2 приведена зависимость: $K_3 = f(\Pi_1/\Pi_0)$.

Численное значение критерия оценки уровня экономической эффективности изменяется в пределах: $0 < K_{\text{Э}} < 1$, что весьма удобно как в количественном измерении, так и со стороны качественной характеристики исследуемых показателей.

Если прибегнуть к предложенному ранее методу [5], то согласно функции оценки $F = K_{\text{Э}}(\Pi_1/\Pi_0) \rightarrow \max$, можно определить критериальную точку A максимального взаимного влияния параметров выражения (3) на кривой зависимости $K_{\text{Э}} = f(\Pi_1/\Pi_0)$ (рис. 2 точка A).

Она соответствует значению критерия $K_{\text{Э}} = 0,368$ и отвечает моменту перехода оценки эффективности из зоны издержек в зону прибыли при $\Pi_1/\Pi_0 = 1$.

Анализ уровней эффективности ряда существующих фрезерующих устройств показывает, что значения достигнутого критерия оценки варьируются в пределах: $K_{\text{Э}} = 0,276 \dots 0,409$.

При этом фактическая экономическая эффективность изменяется в пределах: $\text{Э}_{\text{ф}} = -25 \dots +11\%$.

Предложенный метод оценки уровня технико-экономической эффективности работы технологического оборудования может применяться для анализа различных производственных показателей.

Список литературы

1. Зюзин Б.Ф., Панин А.М. Оценка уровня технико-экономической эффективности работы технологического оборудования. Торфяная промышленность, № 7, 1990. С. 7 – 9.
2. Зюзин Б.Ф., Гром В.И. Принцип дистортности в моделировании экономических процессов. Тезисы XVII НТК: «Аграрная реформа: проблемы, поиски, решения». Тверь: ТГСИ, 1994. С. 49 – 50.
3. Александров Г.А., Калачев Ю.В. Повышение эффективности торфяного производства. М.: Недра, 1980. С. 101 – 129.
4. Жадаев И.С. Противоречия становления информационной экономики в России: Дис. ... канд. экон. наук: 08.00.01 Саратов, 2006. 177 с.
5. Зюзин Б.Ф., Жигульская А.И., Юдин С.А. Дистортность в методологии взаимодействия технологических машин с торфяной залежью. Монография. Тверь: ТвГТУ, 2021. 168 с.

УДК 622.331.001.5:378

КРИТЕРИЙ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

Б.Ф. Зюзин, д.т.н., проф., зав. кафедрой, **А.И. Жигульская**, к.т.н., доцент,
И.Е. Гришин, магистрант
Тверской государственной технической университет, г. Тверь, РФ

Дано решение квадратичного уравнения синергии. Установлен критерий максимального взаимного влияния определяющих параметров.

Ключевые слова: синергетический эффект, энтропийный критерий.

CRITERION OF SYNERGETIC EFFECT

B.F. Zyuzin, A.I. Zhigulskaya, I.E. Grishin

The solution of the quadratic synergy equation is given. The criterion of the maximum mutual influence of the determining parameters is established.

Keywords: synergetic effect, entropy criterion.

Синергетический эффект – возрастание эффективности деятельности в результате интеграции, слияния отдельных частей в единую систему за счет т.н. системного эффекта (эмерджентности).

Синергетический эффект – это закон, который проявляется в разных сферах. Синергия представляет собой взаимодействие двух и более сторон, совокупный эффект которого превышает сумму индивидуальных вкладов.

Условием возникновения этого эффекта выступают четкие и целенаправленные (взаимосвязанные) действия компонентов системы, что в терминах статистической механики означает рост уровня ее организованности и упорядоченности. Чем более упорядочена система, тем лучше организовано взаимодействие ее компонентов.

В качестве показателя упорядоченности системы по отношению к иным возможным ее состояниям (как фактически реализованным, так и потенциальным, или виртуальным) может выступать энтропия.

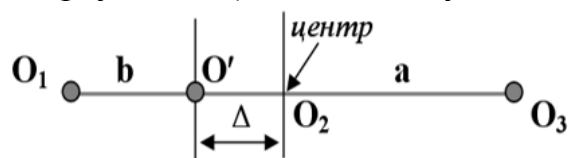


Рис. 1. Схема линейной модели синергии

Мерой упорядоченности может служить разница между актуальной и максимально возможной энтропией системы [1]. Эту разницу можно увеличить либо путем снижения первой при сохранении последней в неизменном виде, либо через увеличение последней (расширение спектра виртуальных состояний системы) при неизменности фактической энтропии [2–4].

Рассмотрим бинарную – линейную модель синергии, которая устанавливает взаимное влияние состава и структуры природной системы (рис. 1). Состав структурной системы определен двумя параметрами: a и b .

Начальные условия: $0 < (a, b) < 1$; $a + b = 1$.

Структурный сдвиг: $\Delta = a - b$ или в инвариантной форме

$$\Delta_{\text{инв}} = (a - b)/(a + b) = 1 - 2b.$$

Параметр структуры: $\Pi_K = b/a$; $0 < \Pi_K < 1$.

Предложен энтропийный критерий (инвариант) оценки (количественного и качественного) предельного равновесного состояния структурной системы (среды, материала), характеризующий подобие напряженно-деформированных состояний, который обладает инвариантностью и является отношением двух противоположных начал: растяжения – сжатия, разрушения – упрочнения, притяжения – отталкивания, нагревания – охлаждения, порядка – хаоса и т.д. Критерий в аналитике: $K_p = \Pi_K \Delta_{\text{инв}} \rightarrow \max$.

Анализ функции критерия $K_p = f(b) = b(1 - 2b)/(1 - b)$:

Граничные условия: при $b \rightarrow 0$ $K_p \rightarrow 0$, при $b \rightarrow 1/2$ $K_p \rightarrow 0$. Т.е. критерий в пределах изменения параметра $0 < b < 1/2$ имеет экстремум $K_p \rightarrow \max$. Условие экстремума: $dK_p/db = 0$. После преобразований получаем критериальное уравнение: $b^2 - 2b + 1/2 = 0$.

Решение уравнения: $b = 1 - 1/\sqrt{2} = 0,292 \dots$

Исходное уравнение синергетического эффекта:

$$\Pi_K = \Delta_{\text{инв}} \text{ или } b/a = (a - b)/(a + b).$$

Отсюда имеем: $b/(1 - b) = 1 - 2b$.

После преобразований получаем квадратичное уравнение: $b^2 - 2b + 1/2 = 0$.

Тогда параметр структуры определен величиной $\Pi_K = 0,414$

Определенные параметры состава и структуры природной системы устанавливают условие максимального взаимного влияния.

Список литературы

1. Зюзин Б.Ф. Концепция теории предельных состояний в геомеханике. Материалы Международной междисциплинарной научной конференции: «Идеи синергетики в естественных науках». Тверь: ТвГУ, 2006. С.131 – 137.
2. Зюзин Б.Ф., Миронов В.А. Дистортность – естественнонаучная теория. Монография. Тверь: ТвГТУ, 2019. 166 с.
3. Зюзин Б.Ф., Жигульская А.И., Юдин С.А. Механика торфа и торфяной залежи: учебное пособие / под ред. профессора Б.Ф. Зюзина. Тверь: ТвГТУ, 2020. 112 с.
4. Зюзин Б.Ф., Жигульская А.И., Юдин С.А. Дистортность в методологии взаимодействия технологических машин с торфяной залежью. Монография. Тверь: ТвГТУ, 2021. 168 с.

УДК 622.331.001.5:378

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ КУСКОВОГО ТОРФА

Б.Ф. Зюзин, д.т.н., проф., зав. кафедрой, **А.И. Жигульская**, к.т.н., доцент,
И.Е. Гришин, магистрант
Тверской государственной технической университет, г. Тверь, РФ

Приведена взаимосвязь показателя гумификации торфяной системы с характеристиками нелинейности – дистортности для наиболее типичных видов и типов торфа.

Ключевые слова: гумификация, групповой состав торфа, дистортность.

FORMATION OF THE STRUCTURE OF THE LUMP PEAT

B.F. Zyuzin, A.I. Zhigulskay, I.E. Grishin

The interrelation of the humification index of the peat system with the characteristics of nonlinearity – distortion for the most typical types and types of peat is given.

Keywords: humification, group composition of peat, distortion.

Оценку торфяного сырья по содержанию гуминовых кислот предложено выполнять через показатель удельной гумификации Π_{Γ} [1, 2], который представляет собой характеристику соотношения составных частей группового состава торфяной структуры $\Pi_{\Gamma} = \text{ГК}/(\text{ВР} + \text{ЛГ})$, где ГК – содержание гуминовых веществ (гуминовые кислоты и их соли), ВР и ЛГ – содержание водорастворимых и легогидролизующих веществ.

Здесь параметр Π_{Γ} является характеристикой состояния структурной системы, для которой справедливо соотношение $\Pi_{\Gamma} = \Pi_{\text{К(Л)}} = \Pi_{\text{К(Н)}}^2$ [3].

Уровень нелинейности напряженно-деформированного состояния торфяной структуры можно определить по формуле

$$X_A = 1/(1 + \Pi_{\Gamma}) = 1/(1 + \Pi_{\text{К(Н)}}^2).$$

При $\Pi_{\Gamma} = \sqrt{3}$, $X_A = 1/(1 + \sqrt{3}) = 0,366 \approx 1/e$.

В табл. 1 приведены данные исследований [4] группового состава для различных групп и типов торфа.

Вне зависимости от абсолютного значения прочности формованного торфа по отношению к показателю удельной гумификации Π_{Γ} все торфяные структуры разделены на три категории [1]:

- прочная при $\Pi_{\Gamma} < 1,5$;
- среднепрочная при $\Pi_{\Gamma} = 1,5 - 2$;
- низкопрочная при $\Pi_{\Gamma} > 2$.

Для обеспечения прочной структуры формованного (кускового) торфа предельно допустимое значение показателя удельной гумификации должно удовлетворять условию $\Pi_{\Gamma} < \sqrt{1,73} \approx \sqrt{3}$.

Считая, что примесь частиц торфа с $\Pi_{\Gamma} > 1,73$ относится к структурам, обладающим гидрофобными свойствами, предложено их включения в составе формуемой торфомассы рассматривать как центры дефектов структуры.

Таблица 1. Показатель удельной гумификации торфяных структур

Группа и тип торфа	Групповой состав, %		Параметры состояния	
	ВР и ЛГ	ГК	$\Pi_{\Gamma} = \text{ГК}/(\text{ВР} - \text{ЛГ})$	$X_{\Lambda} = 1/(1 + \Pi_{\Gamma})$
Древесная	20,9	41,6	2,019	0,331
Древесно-травяная	23,3	42,1	1,806	0,356
Древесно-моховая	24,5	39,0	1,591	0,386
Травяная	26,4	38,9	1,473	0,404
Травяно-моховая	28,5	10,8	0,379	0,725
Низинный	25,2	40,0	1,587	0,386
Древесная	15,4	44,3	2,876	0,258
Древесно-травяная	20,0	42,3	2,115	0,321
Древесно-моховая	18,2	42,4	2,329	0,300
Травяная	25,7	36,0	1,400	0,416
Травяно-моховая	27,5	35,4	1,287	0,437
Моховая	31,7	31,7	1,000	0,500
Переходный	23,9	37,8	1,581	0,387
Древесная	16,2	41,8	2,580	0,279
Древесно-травяная	16,9	40,6	2,402	0,294
Древесно-моховая	21,5	36,4	1,693	0,371
Травяная	24,6	33,7	1,369	0,422
Травяно-моховая	31,5	29,1	0,923	0,520
Моховая	43,3	18,5	0,427	0,701
Верховой	35,8	24,7	0,690	0,592

В табл. 2 приведены расчетные значения показателя удельной гумификации по содержанию основных компонентов группового состава в зависимости от степени разложения торфа R, % с учетом работы [3].

Таблица 2. Характеристики структуры торфа

Тип торфа	R, %	Групповой состав, %		Параметры состояния	
		ВР + ЛГ	ГК	Π_{Γ}	X_{Λ}
Верховой	<25	40 - 30	10 - 15	0,25 - 0,5	0,8 - 0,666
	25 - 35	30 - 40	15 - 25	0,5 - 0,625	0,66 - 0,62
	>35	30	35 - 38	1,16 - 1,26	0,46 - 0,44
Низинный	25 - 35	30 - 35	30 - 35	1,00	0,50
	>35	30	40 - 55	1,33 - 1,83	0,42 - 0,35

Реологические свойства торфа различны в зависимости от его влажности, переработки и других факторов. По мере снижения влагосодержания возрастает число фазовых контактов в жидкообразной коагуляционной структуре, возрастает прочность и упругость системы [5].

Абсолютно сухой торф и торф с малым содержанием влаги по своим свойствам приближается к твердым телам.

Такой торф способен сохранять свою форму при относительно высоких внешних усилиях (до определенного их значения).

С увеличением содержания в торфе влаги он становится пластичным, легче поддается деформации, при этом возрастают остаточные деформации, а упругие (возвращаемые) уменьшаются. Торф с высоким содержанием влаги (торфяная гидромасса) обладает свойствами вязкой жид-

кости. Для оценки структурных связей, плотности и деформируемости глинистых грунтов и торфяной массы используется расчетная величина показателя консистенции [5]: $J_L = (W - W_P)/(W_T - W_P)$, где W – текущее значение влажности грунта; W_T – влажность грунта на границе текучести; W_P – влажность грунта на границе раскатывания (пластичности). По величине J_L различают следующую градацию консистенции торфа: твердая, полутвердая, тугопластичная, мягкопластическая, текучепластичная, текучая.

Оценку консистенции торфомассы можно произвести по показателю удельного сопротивления пенетрации P_q [5] (рис. 1).

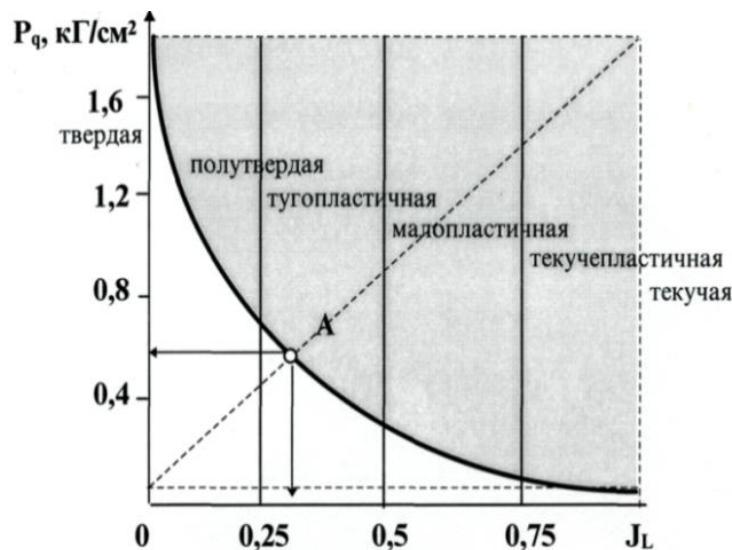


Рис. 1. Оценка консистенции торфяной структуры по показателю удельного сопротивления пенетрации P_q

При этом можно выделить область с преобладанием свойств твердой фазы торфа, что соответствует условию $P_q > 0,66$ кГс/см² и $J_L < 0,33$.

Список литературы

1. Терентьев А.А. Управление структурообразованием в торфяных системах при получении бытового топлива. Дисс. докт. техн. наук. Минск, 1989.
2. Фомин В.К. Научные основы выбора технологии добычи кускового торфа // Тр. ВНИИТЦ, 1988. Вып. 61.
3. Прогнозирование предельных состояний в нелинейной геомеханике / Б.А. Богатов, В.А. Миронов, Б.Ф. Зюзин, В.Н. Лотов. Монография. Минск: БГА, 2000. 340 с.
4. Лиштван И.И., Король Н.Т. Основные свойства торфа и методы их определения. Минск: Наука и техника, 1975. 320 с.
5. Зюзин Б.Ф., Жигульская А.И., Юдин С.А. Механика торфа и торфяной залежи: учебное пособие / под ред. профессора Б.Ф. Зюзина. Тверь: ТвГТУ, 2020. 112 с.

УДК 622.23.05

О СРЕДСТВАХ РАЗРУШЕНИЯ НЕГАБАРИТОВ ГОРНЫХ ПОРОД НА КАРЬЕРАХ

Иванов С.Л., д.т.н., проф., Шешукова Е.И., Недашковская Е.С.
Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, РФ

Разрушение негабаритных кусков горной породы, образующихся при ведении открытых горных работ на карьерах, является важным этапом добычи полезных ископаемых. Наличие негабаритов затрудняет проведение работ, вплоть до их останова, а также приводит к повышенным нагрузкам горной техники при транспортировании негабаритных кусков с места проведения работ. Повышение нагрузок горной машины приводит к снижению ее ресурса и возникновению аварийных ситуаций. Самым распространенным способом разрушения негабаритов является применение взрывчатых веществ. Однако данный способ имеет ограничения применения из-за его небезопасности. На карьерах используются различные оборудования и инструменты, позволяющие разрушать негабаритные куски истиранием/шелушением, раскалыванием или раздавливанием/дроблением. Рассмотрены существующие способы разрушения и средства их реализации.

Ключевые слова: негабарит, разрушение негабарита, способы разрушения негабарита, средства разрушения негабарита, открытые горные работы.

ON THE MEANS OF DESTRUCTION OF OVERSIZED ROCKS IN OPEN PITS

Ivanov S.L., Sheshukova E.I., Nedashkovskaya E.S.

Destruction of oversized chunks of rock formed during open-pit mining is an important stage of mining operations. The presence of oversized pieces makes it difficult to carry out works, up to their stoppage, and also leads to increased loads of mining equipment when transporting oversized pieces from the place of work. Increased loads of mining machinery leads to a decrease in its service life and the occurrence of emergency situations. The most widespread method of destroying oversize pieces is the use of explosives. However, this method has limitations due to its non-safety. Quarries use a variety of equipment and tools to break oversize pieces by abrasion/chipping, splitting, or crushing/shredding. This paper discusses the existing methods of destruction and the means of their implementation.

Keywords: oversize, oversize destruction, methods of oversize destruction, means of oversize destruction, open-pit mining.

Образование негабаритных кусков на месте проведения горных работ в карьерах приводит к необходимости их ликвидации. Для ликвидации негабарита необходимо остановить горные работы, что снижает рабочее время горной техники.

Негабариты в карьерах либо разрушают на месте проведения работ, либо перемещают на специально отведенные склады [1]. Однако перемещение негабаритных кусков отрицательно влияет на состояние транспортирующего оборудования и приводит к возникновению аварийных ситуаций [2]. Поэтому целесообразно проводить ликвидацию негабаритных кусков на месте их обнаружения.

Разрушение негабарита производится истиранием/шелушением, раскалыванием или раздавливанием/дроблением.

Разрушение шелушением пород, склонных к растрескиванию, производят огнеструйными горелками вследствие воздействия на негабаритный

кусок горной породы реактивной струей нагретых газов[3]. Однако этот способ применим только к вышеупомянутым породам.

Применение взрывчатых веществ (ВВ) является самым распространенным способом разрушения негабаритов. По типу воздействия на поверхность негабарита различают шпуровые и накладные заряды ВВ; также применяются кумулятивные заряды, которые воздействуют узконаправленной волной на негабаритный кусок, тем самым повышается эффективность дробления при меньшем удельном расходе ВВ [4]. Разрушение негабарита, а также изначальная подготовка горной массы к экскавации, производится следующими ВВ: гранулит РП-1, гранулит НП, Сибирит 1000, Сибирит 2500РЗ [5].

Однако применение ВВ затрудняется при определенных условиях проведения открытых горных работ из-за его небезопасности. Решением данной проблемы может служить применение мобильной механизированной взрывкамеры, которая накрывает негабарит, тем самым локализуя процесс разрушения негабарита [6].

Альтернативой взрывному способу разрушения можно рассматривать применение невзрывных разрушающих веществ (НРС), которые при запуске химической реакции увеличиваются в объеме и способствуют раскалыванию негабарита. Распространено применение следующих НРС: S-mite, НРВ-80, НРС-1[2], др.

Наряду с ВВ распространено применение молотов (бутобоев)[7], которые разделяют на:

- гидравлические Delta F50, МГ-550, НВ 3100 [2],
- пневматические ПН-1700М4, Б-2М [2];
- гидропневматическое ГПМ-120, ГПМ-120А, ГПМ-200, ГПМ-300, СП-71 КФ ВНИИСДМ [8];
- электромагнитные ЭММ-150В, ЭММ-500В [2];
- дизельные ДМ-150, СП60А, СП76А [2].

Возможность применения молотов как дополнительного навесного оборудования на стреле экскаватора является отличительным преимуществом, что позволяет увеличить время эксплуатации совмещением функций при проведении горных работ.

В качестве способа разрушения негабаритных кусков горной породы резанием является применение алмазных канатных пил. Существует карьерная канатная установка TSY-55G SKYSTONE [9], позволяющая снизить выход негабарита при добыче горных пород открытым способом до минимума.

Процесс резания напоминает тепловое разрушение негабаритов с помощью высококонцентрированного светового излучения. Для этого применяют различные устройства излучения, например, ЛТУ, СИ-102 [2].

Распространено применение клиньев, в частности гидравлических, для раскалывания негабаритных кусков горной породы. Клин устанавливается в предварительно пробуренный шпур, и после включения, при посту-

пательном движении первого, между щек происходит раскалывание негабарита. Для разрушения негабаритов применяют гидравлические клинья СМР-075, «Darda», КНД, ВТН-350, РГК-2030, СМП-075 [2].

Гидропушки «Kamat», «Woma», ИВ-5 [2] позволяют разрушать негабаритный кусок зарядом воды (или другой жидкости). Гидропушка направляет струю или импульсный заряд жидкости на поверхность негабаритного куска (либо в пробуренную в нем скважину), который при ударе о поверхность разрушает его.

Разрушение негабарита термической горелкой похоже по влиянию на поверхность на процесс применения гидропушки. Тепловой поток, формируемый горелкой, ведет к возникновению термоупругих напряжений, которые приводят к разрушению куска горной породы при достижении критических значений [10]. Для данного процесса применяют следующие ручные термобуры: РТБ-В1, РТБ-В2, РТБ-3к [11].

Термоупругие напряжения в негабаритном куске можно вызвать с помощью воздействия на последний электромагнитным излучением. Также разрушение негабарита воздействием электрического тока происходит вследствие теплового удара, либо высокочастотного диэлектрического нагрева [12]. Данное воздействие производится установками 1УРН, ЛОР-60, ЛГПЭ-60, «Электра», НЛ-30-245 [2].

Также существуют комбинированные способы разрушения негабаритных кусков горной породы, включающие в себя вышеперечисленные способы.

Таким образом, существует широкий спектр средств разрушения негабарита, выбор которых обуславливается конкретными условиями эксплуатации, требований техники безопасности и условиями функционирования, как горного предприятия, так и целей им реализуемых.

Список литературы

1. Тарасов П. И. Спецтехника на базе "БЕЛАЗ" и оборудование в разрабатываемой технологической схеме ликвидации негабаритов / П. И. Тарасов, Д. Н. Андрюшенков, П. Л. Мариев, А. Н. Егоров // Актуальные вопросы машиноведения. – 2013. – Т. 2. – С. 92-94.
2. Тарасов П. И., Андрюшенков Д.Н. Транспортирование негабаритов как альтернативный способ их ликвидации из рабочей зоны карьера // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2014. – № 2. – С. 4-9.
3. Каркашадзе Г. Г., Дербенева О.Л. Термомеханический способ измельчения горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 1996. – № 5. – С. 110-112.
4. Трегубов Н.М. Вторичное дробление горных пород при циклично-поточной технологии добычи. – М.: Недра, 1976. – 160 с.
5. Дронов В. Н. Перспектива замены штатных ВВ с использованием передвижной смесительной установки / В. Н. Дронов, В. В. Акименко, А. Ю. Пазынич // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – № S6. – С. 273-279.

6. Тарасов С. П. Мобильный локализатор для разрушения негабаритов / С. П. Тарасов, П. И. Тарасов, М. Л. Хазин // Горная промышленность. – 2021. – № 1. – С. 105-109. – doi.org/10.30686/1609-9192-2021-1-105-109.
7. Герике П. Б., Герике Б.Л. Поиск инструмента для механического разрушения прочных породных массивов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № S2. – С. 241-265.
8. Галдин Н.С., Бедрина Е.А. Ковши активного действия для экскаваторов: Учеб. пособие. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2003. – 53 с.
9. Карьерная канатная установка TSY-55G Skystone [Электронный ресурс]. – URL: <https://stone-service-stanki.ru/stanki/kanatnye/karernaya-kanatnaya-ustanovka-tsy-55g-skystone/?ysclid=ldiwbhycju7037478> (дата обращения 13.02.2023).
10. Половов Б.Д. Основы горного дела: общие сведения и понятия горного дела. Подземная, открытая и строительная геотехнологии: учебник для вузов / Б. Д. Половов, А. А. Химич, Н. Г. Валиев; ФГБОУ ВПО «Урал. гос. горный ун-т». – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2012. – 789 с.
11. Софинский И.Д., Софинкий П.И. Разработка мерзлых грунтов при строительстве линейных сооружений связи. – Москва: Связь, 1973. – 57 с.
12. Справочник. Открытые горные работы / К.Н. Трубецкой [и др.]; под ред. Р.С. Яруллиной. – М.: Горное бюро, 1994. – 590 с.

622:658.562; 622.121; 622.142.1; 622.143.1

ОЦЕНКА КВАЛИФИКАЦИИ ОПЕРАТОРА, КАК ВЛИЯЮЩЕГО ФАКТОРА НА НАДЕЖНОСТЬ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЭКСКАВАТОРА

В. Колпаков, студент, **Д.А. Шибанов**, к.т.н., доцент
Санкт-петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, РФ

В современном мире карьерные электрические экскаваторы (ЭКГ) применяются в наиболее тяжелых условиях эксплуатации в сравнении с другим выемочно-погрузочным оборудованием карьеров, благодаря высокой ремонтпригодности и долговечности. На сегодняшний день основные конструктивные особенности карьерных электрических экскаваторов устоялись, вследствие чего новых технических решений для увеличения производительности оборудования не предлагается, однако совершенствование конструкций постоянно ведется и направлено на снижение себестоимости изготовления машин при сохранении их ресурса. Также карьерные электрические экскаваторы развиваются интенсивным методом – увеличением их единичной мощности, т.е. увеличением объема экскавируемой массы за один цикл работы. В свою очередь наличие различных моделей и модификаций экскаваторов имеют различный отклик на их надежность при влиянии идентичных факторов эксплуатации, в том числе квалификации машиниста. В рамках одной модели различные факторы эксплуатации оказывают существенное влияние на расходование ресурса машины. Нивелировать или усугубить влияние этих факторов возможно при правильной оценке и дальнейшей корректировке квалификации машиниста экскаватора.

Ключевые слова: карьерный экскаватор, оператор экскаватора, цикл работы экскаватора, оптимизация нагрузок, эффективность эксплуатации.

IMPACT OF EXCAVATOR OPERATOR QUALIFICATIONS ON RELIABILITY AND PRODUCTIVITY

V. Kolpakov, D.A. Shibanov,

In today's world electric mining excavators (EKG) are used in the most difficult operating conditions in comparison with other excavation and loading equipment of the quarries, due to their high maintainability and durability. In turn, the presence of different models and modifications of excavators have a different response to their reliability under the influence of identical factors of operation, including the qualification of the operator. Within one model, different operating factors have a significant impact on the machine's service life. It is possible to offset or exacerbate the effects of these factors by properly evaluating and further adjusting the excavator operator's qualifications.

Keywords: open-pit excavator, excavator operator, excavator duty cycle, load optimization, operating efficiency, drive load schedule, drive load an.

В процессе эксплуатации на нагруженность рабочего оборудования карьерного экскаватора и как следствие на интенсивность расходования его ресурса влияют ряд внешних и внутренних факторов эксплуатации: горно-геологические и горнотехнические факторы; климатические факторы; качество подготовки забоя и горной массы; управление экскаватором; техническое состояние экскаватора; организация ведения горных работ.

С точки зрения организации ведения горных работ влияние на изменение технического состояния и эффективности эксплуатации в основном оказывает интенсивность производственной загрузки оборудования, отражающейся на скорости деградационных процессов, в том числе износе, который является критерием отказа, а также усталостной долговечности. При

этом оценка эффективности эксплуатации производится такими критериями, как: удельный объем работ и коэффициент использования экскаватора.

Один из основных влияющих факторов – качество подготовки горной массы. Подготовка горной массы на карьерах в большинстве случаев производится буровзрывным способом, за исключением выработки вскрышных пород, когда предварительная подготовка не требуется. Путем изменения схем сетки скважин и глубины закладки заряда можно примерно регулировать крупность получаемого куска и процентный выход негабарита. Однако второе значительно сложнее из-за возможных трещиноватостей уступа и вероятности отказа заряда.

В рамках проводимых исследований планируется выявить закономерность изменения нагруженности рабочего оборудования экскаватора по изменению мгновенных токов главных приводов (рис. 1 и рис. 2) при экскавации горной массы.

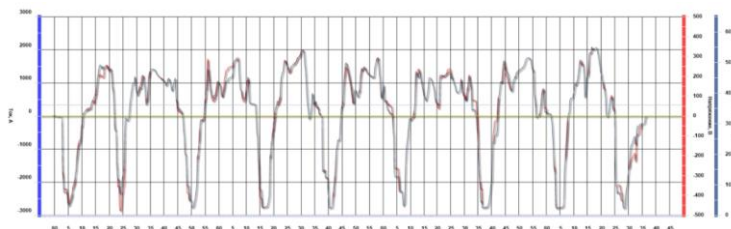


Рисунок 1 – Осциллограмма мгновенных значений тока привода подъема экскаватора при погрузке горной массы со средневзвешанным размером куска 0,1 м без негабаритов

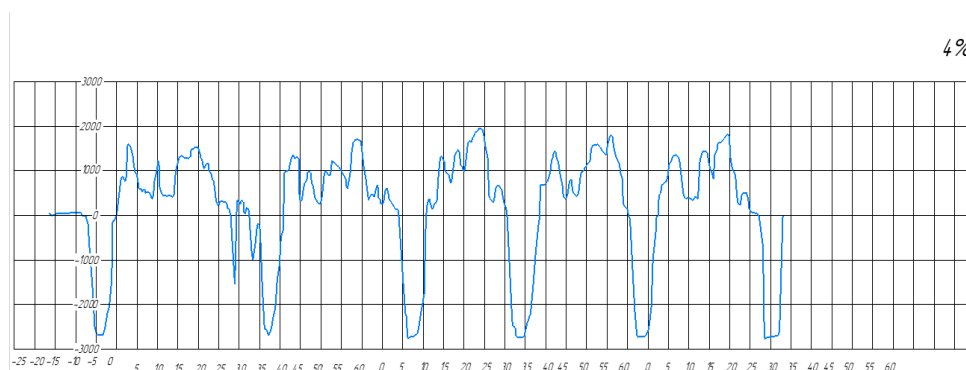


Рисунок 2 – Осциллограмма мгновенных значений тока привода подъема экскаватора при погрузке горной массы со средневзвешанным размером куска 0,5 м с 4 % негабаритами

Цель исследования - обнаружить зависимость между расходом ресурса экскаватора и средневзвешанным размером куска разрыхленной горной массы, добываемой в процессе экскавации.

Для этого был выбран тренажер СКБВ.466948.174 предназначенный для обучения операторов тяжелых карьерных гусеничных экскаваторов ЭКГ-18Р. Аппаратура позволяет смоделировать режим экскавации и погрузки разработанной горной массы в автомобильный и железнодорожный транспорт, в различное время суток и в горно-геологических условиях забоев.

Сам тренажер позволяет снять данные при работе экскаватора, аналогичные данным ИДС реальной машины. В исследовании для рассмотрения была выбрана осциллограмма мгновенных характеристик энергетической загрузки привода подъема, которая совмещает в себе:

- зависимость напряжения на электродвигателе привода напора от времени внутри цикла экскавации.
- зависимость тока возбуждения электродвигателе привода напора от времени внутри цикла экскавации.

Несомненно, полученные графики не подчиняются нормальным математическим законам и требуют индивидуального подхода к обработке, так в ходе исследования было предложено следующее.

Часть первая:

- Разбить осциллограммы по циклам экскавации, исследовать их отдельно и по результатам измерений попытаться выявить какую-либо зависимость.
- Измерить время каждого цикла экскавации.
- Определить работу при копании, путем вычисления площади под графиком.
- Определить работу за весь цикл экскавации, путем вычисления площади под графиком.

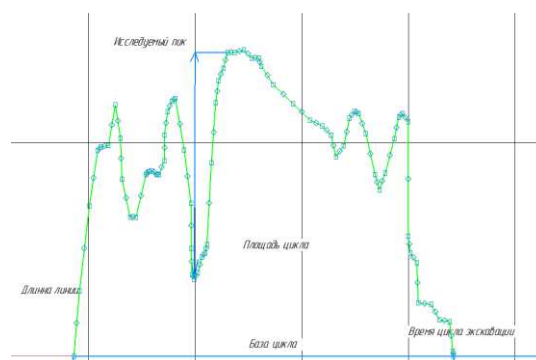


Рисунок 6 – Пример обработки осциллограммы за цикл экскавации

Часть вторая:

Привести 5 самых типовых циклов экскавации в каждом исследуемом графике.

- Приведением выборки отсеиваются неточности, связанные с резкими скачками напряжения (обусловленные, например, ударом ковша о негабарит или повторным зачерпыванием) и сглаживаются погрешности в работе оператора.
- Графическим методом найти первую и вторую производные к каждому.

Первая производная в таком случае покажет изменение скорости ковша и позволит определить количество и качество резких скачков нагрузки. Далее эти данные можно будет привести к среднему и сравнить.

Вторая производная будет представлять график изменения ускорения ковша, а, как известно, каждый скачок - резкое изменение ускорения, значит, и нагрузки на любом приводе машины повлекут за собой дополнительный износ. Так же график второй производной позволит определить количество ударов ковша о негабарит.

- Провести сравнительный анализ.

Путем сравнительного анализа будет получена зависимость нагрузки, а, следовательно, износа приводов относительно крупности куска.

В качестве вывода можно отметить, что такая методика, несомненно, имеет перспективу, так как уже на начальном этапе она показывает, что с увеличением крупности породы и процента негабарита производительность падает, а расходование ресурса экскаватора возрастает. Однако для определения конкретной зависимости требуется более глубокое изучение проблемы и возможно, большее количество серий опытов.

Список литературы

1. У.Ф. Очиллов Ш.А. Равшанова Теоретические исследования механизма дробления скальных горных пород при взрывании высоких уступов / Очиллов У.Ф. Равшанова Ш.А.; Известия вузов. Горный журнал», № 3, 2017. – 6с.
2. А. М. Бураков С.В. Панишев Е.Л. Алькова Д.В. Хосоев Опыт применения гидравлических экскаваторов в сложных горно-геологических и климатических условиях / Бураков А. М. Панишев С.В. Алькова Е.Л. Хосоев Д.В.; Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского, 2022 – 7с.
3. П.С. Симонов Особенности определения размера среднего куска и выхода негабарита при взрывных работах на карьерах / Симонов П.С.; МГТУ, 2017. – 4с.
4. Г.М. Крюков, М.И. Докутович, С.Н. Жаровонко Степень дробления и выход негабарита при взрывном рыхлении горных пород на карьерах. / Крюков Г.М. Докутович М.И. Жаровонко С.Н. ; МГТУ, 2011. – 5с.

УДК 621.271

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ ДВИГАТЕЛЯМИ ГЛАВНЫХ МЕХАНИЗМОВ КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА И РЕЖИМАМИ РАБОТЫ ПРИВОДОВ

В. И. Бахарева¹, ст.препод., **А. П. Комиссаров**^{1,2}, д.т.н., проф.,

О. А. Маслеников¹, аспирант, **Р. Ш. Набиуллин**¹, к.т.н., доцент

¹ Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

² Уральский Федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

Рассмотрены особенности совместного функционирования главных механизмов (механизмов подъема ковша и напора) карьерного экскаватора. Показано, что при функционировании главных механизмов образуется общий передаточный механизм приводов главных механизмов, состоящий из механизма подъема ковша, механизма напора и рычажного механизма, преобразующего движения звеньев главных механизмов в перемещение ковша. Установлено, что режимные параметры главных механизмов (скорости и усилия подъема и напора) определяются в зависимости от положения звена «рукоять-ковш» в рабочей зоне экскаватора. Результаты работы могут быть использованы при разработке системы управления приводами главных механизмов карьерного экскаватора.

Ключевые слова: главные механизмы карьерного экскаватора, рычажный механизм, общий передаточный механизм приводов главных механизмов, система управления приводами.

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF KINEMATIC COMMUNICATION BETWEEN THE ENGINES OF THE MAIN MECHANISMS OF A MINING EXCAVATOR AND THE OPERATING MODES OF THE DRIVES

V. I. Bakhareva, A. P. Komissarov, O. A. Maslenikov, R. Sh. Nabiullin,

The features of the joint functioning of the main mechanisms (bucket lifting and pressure mechanisms) of a mining excavator are considered. It is shown that during the operation of the main mechanisms, a common transmission mechanism of the drives of the main mechanisms is formed, consisting of a bucket lifting mechanism, a thrust mechanism and a lever mechanism that converts the movements of the links of the main mechanisms into the movement of the bucket. It has been established that the regime parameters of the main mechanisms (speed and effort of lifting and pressure) are determined depending on the position of the "arm-bucket" link in the working area of the excavator. The results of the work can be used in the development of a drive control system for the main mechanisms of a mining excavator.

Keywords: main mechanisms of a mining excavator, lever mechanism, general transmission mechanism of the drives of the main mechanisms, drive control system.

Введение Режимы работы двигателей главных механизмов (механизмов подъема ковша и напора) карьерных экскаваторов характеризуются большим числом включений, значительной вариацией нагрузок и скоростей рабочих движений. Управление рабочим процессом в этих условиях (большое количество информации о рабочем процессе, дефицит времени) затруднено.

Одним из основных резервов роста производительности карьерных экскаваторов является формирование и поддержание рациональных режимов совместного функционирования главных исполнительных механизмов в процессе копания для конкретных условий эксплуатации, обеспечивающих полную реализацию технических возможностей оборудования и,

главным образом, максимальную степень использования установленной мощности силового оборудования.

В технической литературе [1, 3, 5, 10, 11] вопросы, связанные с определением и согласованием режимных параметров главных механизмов в конкретных горнотехнических условиях эксплуатации оборудования, освещены не в полной мере. Определение скоростей рабочих движений, усилия в подъемном канате и напорного усилия производятся лишь при расчетных положениях рабочего оборудования.

В процессе работы при произвольном соотношении между скоростями рабочих движений (при ручном управлении рабочим процессом) возникают резкие изменения скоростей и усилий.

Предварительный выбор установленной мощности приводов главных исполнительных механизмов производится по примерным скоростным и нагрузочным диаграммам.

Определение и согласование режимных параметров главных механизмов в конкретных горнотехнических условиях позволит разработать алгоритм управления приводами главных механизмов и, в конечном счете, повысить производительность экскаватора.

Цель и задачи исследования. Цель – повышение эффективности управления рабочим процессом на основе идентификации режимов функционирования исполнительных механизмов (механизмов подъема ковша и напора). Задачи:

- анализ степени трансформации рычажным механизмом режимных параметров главных механизмов (скоростей и усилий подъема и напора) в энергосиловые параметры, реализуемые на режущей кромке ковша в процессе экскавации;

- установление взаимосвязей между режимными параметрами главных механизмов и параметрами процесса экскавации (траекторией перемещения ковша, скоростью копания, углом резания и др.);

- определение режимов совместного функционирования главных механизмов.

Решение задач исследования

Объектом исследования является общий передаточный механизм приводов главных механизмов, состоящий из механизма подъема ковша, механизма напора и рычажного механизма, преобразующего движения звеньев главных механизмов в перемещение ковша.

Предмет исследования – изучение кинематических и динамических свойств рычажного механизма.

Методы исследования – методы теории машин и механизмов, математическое моделирование и вычислительный эксперимент.

На основе анализа выполненных исследований по изучению рабочего процесса карьерных электромеханических экскаваторов типа ЭКГ выявлены особенности функционирования главных механизмов карьерных экскаваторов:

- в процессе совместного функционирования имеет место противодействие главных механизмов ввиду противоположного направления векторов скоростей подъема и напора (скорость подъема направлена, в основном, к подъемной лебедке, т. е. в сторону экскаватора, а скорость напора в сторону обрабатываемого забоя) [13];

- при совместном функционировании главных механизмов формируется общий передаточный механизм приводов главных механизмов, состоящий из механизма подъема ковша, механизма напора и рычажного механизма [4], который преобразует движения звеньев главных механизмов в перемещение ковша.

Выполнен анализ степени трансформации рычажным механизмом режимных параметров главных механизмов (скоростей и усилий подъема и напора) в энергосиловые параметры, реализуемые на режущей кромке ковша в процессе экскавации горных пород.

В результате структурного анализа рычажного механизма установлено, что рычажный механизм имеет две степени свободы. В механизмах с двумя степенями свободы (двумя обобщенными координатами) могут быть или два начальных звена, если за обобщенные координаты приняты координаты двух звеньев, или одно начальное звено, если оно образует со стойкой двухподвижную пару [9]. За начальное звено рычажного механизма принимается звено «рукоять-ковш», образующее со стойкой двухподвижную кинематическую пару посредством седлового подшипника и, соответственно, при этом положения всех звеньев как рычажного механизма, так и главных механизмов определяются положением звена «рукоять-ковш», а именно координатами вершины режущей кромки ковша.

На основе кинематического и силового анализа рычажного механизма получены зависимости для определения режимных параметров главных механизмов (усилий, скоростей и мощностей сил), обеспечивающих перемещение ковша по заданной траектории при заданных энергосиловых параметрах, реализуемых на ковше.

Разработана имитационная модель процесса экскавации горных пород рабочим оборудованием прямая лопата карьерного экскаватора, заключающаяся в многократном воспроизведении функционирования (поведения) исследуемой системы на основе математической модели. Результаты имитационного моделирования представляют собой набор величин, характеризующих исследуемый процесс.

В качестве метода исследований принят вычислительный эксперимент. Для алгоритмических моделей экспериментирование с помощью модели тождественно нахождению значений выходных характеристик при заданных значениях входных переменных и постоянных аргументов, т. е. подстановке в алгоритм конкретных чисел и расчету по формулам. Перебор вариантов решений производится с заданным шагом варьирования. В ходе просчета и калибровки математической модели накапливается ин-

формация о функциональных возможностях различных структурных схем объекта исследования.

Выполнен вычислительный эксперимент для экскаватора ЭКГ-20А производства ПАО «Уралмашзавод».

Показано, что усилия подъема и напора изменяются в широком диапазоне и зависят, в основном, от вылета рукояти и высоты копания, т. е. от положения ковша. Так, при минимальном вылете рукояти усилия подъема и напора существенно возрастают при увеличении высоты копания. Рост усилий подъема и напора в этом случае обусловлен уменьшением плеча действия усилия подъема относительно оси стойки при увеличении высоты копания и, соответственно, возрастанием как усилия подъема, так и усилия напора при стабильном уровне внешних нагрузок – сил тяжести элементов рабочего оборудования и силы сопротивления грунта копанию. При увеличении высоты копания усилие подъема возрастает, а усилие напора уменьшается.

Таким образом, соотношения между скоростями и усилиями подъема и напора зависит от положения ковша в рабочей зоне экскаватора и определяется степенью согласованности рабочих движений (подъема и напора) и перемещения ковша.

Предложенная методика расчета режимных параметров главных механизмов карьерных экскаваторов позволяет определить фактические значения скоростей рабочих движений в конкретных горнотехнических условиях работы (размеры забоя, вид траекторий перемещения ковша и др.), обеспечить согласование режимных параметров главных механизмов и координацию рабочих движений механизмов и перемещение ковша.

Заключение

Установление взаимозависимостей между режимными параметрами главных механизмов в процессе экскавации может служить основой для разработки адаптивной системы цифрового управления приводами главных механизмов, обеспечивающей эффективное функционирование экскаватора за счет согласования скоростей рабочих движений в конкретных условиях эксплуатации и, в конечном счете, повышение производительности экскаватора.

Список литературы

1. *Бабаков С. Е., Певзнер Л. Д.* Алгоритмизация управления движением ковша экскаватора в режиме черпания с применением нечеткой логики // Горное оборудование и электромеханика. 2012. № 9. С. 8 – 17.
2. *Ганин А. Р.* Внедрение экскаваторов нового модельного ряда производства ООО «ИЗ-КАРТЭКС им. П. Г. Коробкова» на горных предприятиях России / А. Р. Ганин, А. В. Самолазов, Т. В. Донченко // Уголь. 2012. № 8. С. 60 – 62.
3. *Дружинин А. В.* Повышение качества управления одноковшовыми экскаваторами на основе мультиагентного подхода / Новые огнеупоры. 2016. № 3. С. 11 – 12.

4. *Комиссаров А. П., Летнев К. Ю., Лукашук О. А.* Анализ двухкривошипно-рычажных механизмов рабочего оборудования карьерных экскаваторов // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. трудов XV Международ. науч.-техн. конф. «Чтения памяти В. Р. Кубачека», 20-21 апр., 2017 г., г. Екатеринбург. Екатеринбург: УГГУ, 2017. С. 41 – 46.
5. *Корюков А. А.* Геометрическая модель рабочего оборудования карьерного экскаватора для расчета нагрузок электропривода и контроля положения ковша // Известия вузов. Горный журнал. 2013. № 3. С. 106 – 113.
6. *Кубачек В. Р., Девяткин Ю. А., Игумнов Ю. А.* Определение скоростей рабочих движений прямой лопаты с прямым независимым напором. Изв. вузов. Горный журнал. 1970. № 2. С. 35-39.
7. *Кузнецов А. Л.* Карьерные экскаваторы ПАО «Уралмашзавод» – настоящее и будущее российской горнодобывающей промышленности / А. Л. Кузнецов, К. Ю. Анистратов // Уголь. 2016. № 8. С. 77 – 81.
8. *Лагунова Ю. А., Комиссаров А. П., Шестаков В. С. и др.* Горные машины. Энциклопедия. Т. IV-24. М.: Машиностроение, 2011. 493 с.
9. *Левитский Н. И.* Теория механизмов и машин. М.: Наука, 1990. 592 с.
10. *Малафеев С. И., Тихонов Ю. В.* Компоненты интеллектуального управления для карьерных экскаваторов // Автоматизация в промышленности. 2013. № 10. С. 33-37.
11. *Певзнер Л. Д.* Математическая модель динамики карьерного экскаватора как объекта управления / Л. Д. Певзнер, С. Е. Бабаков // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 12. С. 249 – 252.
12. *Певзнер Л. Д.* Автоматизированное управление мощными одноковшовыми экскаваторами. М.: Горное дело, 2014.
13. *Подэрни Р. Ю.* Сравнительный анализ гидравлических и механических экскаваторов с прямой лопатой / Р. Ю. Подэрни, П. Булес // Горный журнал. 2015. № 1. С. 55 – 61.
14. *Рехтман А. П.* Комплексные испытания экскаватора ЭКГ-12 / А. П. Рехтман, А. А. Крагель // Механизация строительства. 2001. № 1. С. 24 – 26.

УДК 622.6-83

РЕЖИМЫ РАБОТЫ ДОБЫЧНЫХ КОМБАЙНОВ КАЛИЙНЫХ РУДНИКОВ

В.Д. Куоза, аспирант

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь

Рассмотрены основные режимы работы добычных комбайнов калийных рудников. Работа комбайна в режиме подрубки по высоте занимает около 30% от общего времени производительных работ. Показано, что работа в режиме подрубки приводит к значительным динамическим нагрузкам. Выявлена необходимость дальнейших исследований развития динамических нагрузок при работе в режиме подрубки по высоте и обосновании рациональных параметров работы в данном режиме.

Ключевые слова: Добычные комбайны, динамические нагрузки, режим подрубки.

OPERATING MODES OF BORER MINER POTASSIUM MINES

Kuoza V.D.

The main operating modes of borer miner at potash mines are considered. The miner's work in undercutting mode occupies about 30% of the total working time. It is shown that work in undercutting mode leads to significant dynamic loads. The necessity of further research of dynamic loads development during undercutting operation and justification of rational operating parameters in this mode is revealed.

Keywords: Borer miner, dynamic loads, hoist vessels, height undercut mode.

Опыт применения проходческо-очистных комбайнов типа «Урал» производства ЗАО «Копейский машиностроительный завод» с планетарно-дисковым исполнительным органом на рудниках Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей показал их высокую эффективность в условиях камерной системы разработки пластов [1].

Совершенствование процесса разработки калийного массива, снижения количества аварийных ситуаций, динамических нагрузок на основные приводные системы исполнительного органа, выхода пылевидных фракций в отбитой руде являются основными перспективными направлениями совершенствования работы выемочных машин.

Достоверными индикаторами, отражающими результативность работы проходческо-очистных комбайнов, являются мгновенные значения нагрузок на электродвигателях основных исполнительных органов. В данном случае мгновенное значение нагрузки на привод может быть представлено как суммарное значение всех составляющих нагрузки в действующий момент [2]:

$$N(T) = N_1(T) + N_2(T) + N_3(T),$$

где $N(t)$ – мгновенное значение нагрузки на приводе исполнительного органа комбайна; $N_1(t)$ – составляющая, определяемая физико-механическими свойствами горного массива, геометрических параметров забоя; $N_2(t)$ – составляющая, определяемая техническим состоянием и кинематикой исполнительных органов проходческо-очистного комбайна;

$N_3(t)$ – составляющая, определяемая параметрами работы выемочной машины.

Камерная система разработки калийных пластов, предполагает два основных режима работы добычных комбайнов: работа в режиме полного сечения выработки, работа в режиме подрубки по высоте [3]. Исследования, проведенные в области эффективности использования проходческо-очистных комбайнах типа «Урал» [4], показали, что общая длительность работы комбайна в режиме подрубки составляет 23 % от всех технологических операций.

Таблица 1 – Время работы комбайна при выполнении различных технологических операций

Наименование технологической операции	Общая длительность выполнения операции, час	Суммарное время производительной работы комбайна, час
Зарубка	48,08	10,14
Работа полным сечением	403,08	118,10
Отгонка	48,67	0,00
Подрубка пласта	132,17	52,45

Однако оценка производительного время работы комбайна является более значимым фактором работы выемочной машины, так как не учитывает время простоев. На работу в режиме подрубки пласта приходится 30 % от суммарного времени производительных работ.

Работа комбайна в режиме подрубки пласта по высоте характеризуется неравномерной нагруженностью приводов исполнительных органов, связанной с ударным взаимодействием планетарно-дискового рабочего органа с горным массивом. Эти динамические процессы зависят от толщины обрабатываемого массива (высоты подрубки) и скорости подачи комбайна на забой. Перечисленные факторы работы комбайна в режиме подрубки по высоте выработки приводят к значительным динамическим нагрузкам и ускоренному износу основных рабочих узлов проходческо-очистного комбайна.

Для выявления нагрузок на основные приводные системы рабочего органа, сотрудниками кафедры «Горная электромеханика» и ООО «Региональный канатный центр» проведены промышленные испытания загрузки приводов комбайнов в режиме подрубки по высоте. В качестве измерительной системы использовался программно-регистрирующий комплекс ВАТУР, позволяющий зафиксировать мгновенные активные мощности на электродвигателях основных рабочих органов [5]. На рисунке представлены графики изменения активной мощности электродвигателей главного исполнительного органа – резцовых дисков и переносного вращения [6]. Замеры проводились при высоте подрубки горного массива $H = 0,8$ м и скорости подачи комбайна $V_{\Pi} = 0,355$ м/с. Усредненные значения мощ-

ностей двигателей комбайна при подрубке по высоте приведены в таблице 2.

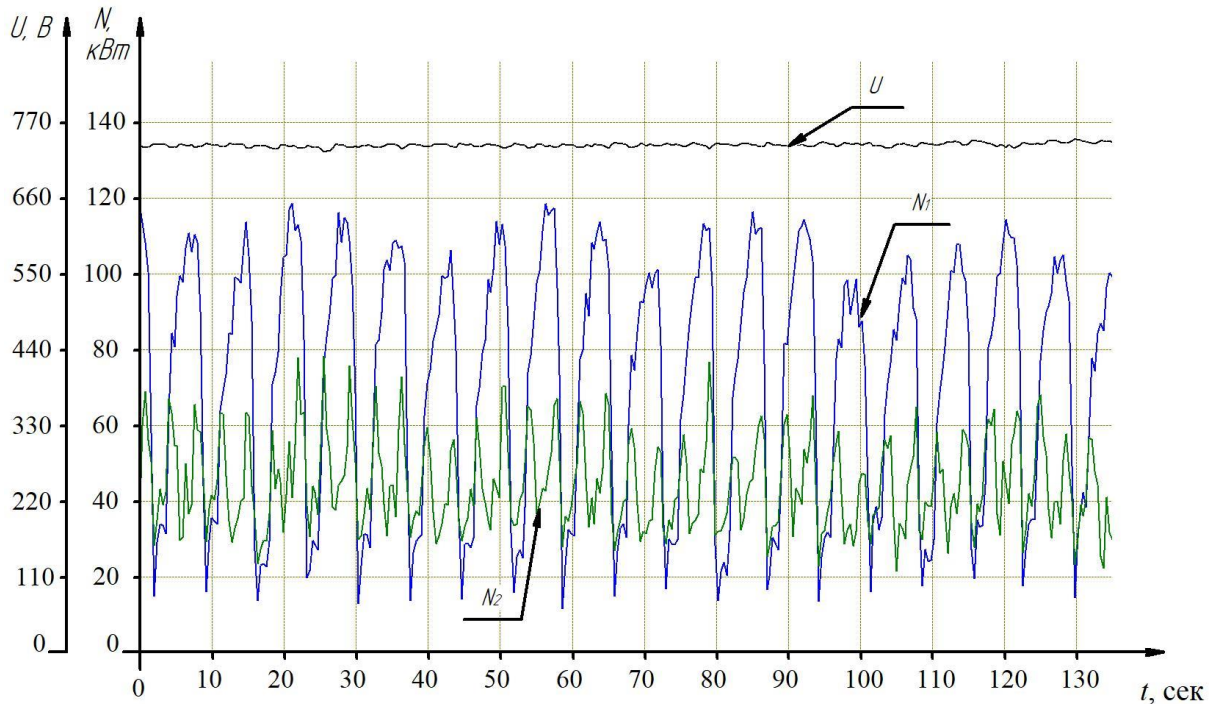


Рисунок. Графики изменения трехфазной активной мощности двигателей проходческо-очистного комбайна при работе в режиме «подрубки»:

U – фазное напряжение на вводе № 1; N_1 , и N_2 – активные мощности двигателей одного исполнительного органа и двигателя переносного движения

Таблица 2 – Сводная таблица параметров работы комбайна при подрубке по высоте

Основные параметры работы		Значение
Скорость подачи – V , м/с		0,355
Высота подрубки H , м		0,8
Наименование приводного электродвигателя	Средняя мощность, кВт	Коэффициент вариации, %
Резцовые диски левого исполнительного органа – N_1	69,5	49,8
Переносное движения – N_2	45,8	27,3

Коэффициент вариации характеризует относительное отклонение величины нагрузки на электродвигателе и, в данном случае, отражает динамическую составляющую нагрузок на приводные системы. Среднее значение активной мощности $N_1=69,5$ кВт соответствует коэффициенту вариации 49,8 %, что в ~2,7 раза больше, чем при отработке комбайном полного сечения выработки.

Выявленные проблемы работы проходческо-очистных комбайнов в режиме подрубки свидетельствуют о необходимости исследования процесса образования динамических нагрузок в исполнительных органах, вли-

яния их на долговечность режущих дисков и приводов комбайна, а также обоснования рациональных параметров работы комбайнов в режиме подрубки.

Список литературы

1. Старков, Л.И. Развитие механизированной разработки калийных руд/Л.И. Старков, А.Н. Земсков, П.И. Кондрашев – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2007 – 522 с.
2. Шишлянников Д.И. Оценка нагруженности приводов комбайнов «Урал-20Р» при двухстадийной разработке забоя / Д.И. Шишлянников, М.Г. Трифанов, Г.Д. Трифанов// Записки Горного института. 2020. Т.242. С.234-241. DOI:10.31897/PMI.2020.2.234
3. Методологическое руководство по ведению горных работ на рудниках ОАО «Сильвинит» / ОАО «Галургия» – Новосибирск: Наука, 2011. – 487 с.
4. Трифанов М.Г. Оценка нагруженности приводов проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р» для выбора технически обоснованных режимов работы в реальных условиях эксплуатации: дис. ... канд. Техн. наук: 05.05.06 / Трифанов Михаил Геннадьевич. – Пермь, 2018. – 164 с.
5. Чекмасов Н.В., Шишлянников Д.И., Трифанов М.Г. Оценка эффективности процесса разрушения калийного массива резцами исполнительных органов комбайна «Урал-20Р» // Известия вузов. Горный журнал. 2013. №6. С. 103–107.
6. Куоза, В. Д. К вопросу о работе проходческо-очистных комбайнов в режиме подрубки // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горно-шахтного и нефтепромыслового оборудования: материалы VIII Международной науч.-практ. конф. «Горная и нефтяная электромеханика – 2022», Пермь, 18–20 октября 2022 г. / под ред. д-ра техн. наук Г.Д. Трифанова. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та., 2022. – с. 44-49.

УДК 621.271

МОДЕРНИЗАЦИЯ ОПОРНО-ПОВОРОТНОГО УСТРОЙСТВА КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

Д.С. Логиновских, инженер, И.Ю. Иванов, доцент
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ

Целью работы является анализ конструкции опорно-поворотного устройства и поиск пути повышения эффективности при эксплуатации.

Ключевые слова: опорно-поворотное устройство, опорные катки, ферромагнитные материалы

MODERNIZATION OF THE ROTATING DEVICE OF MINING EXCAVATORS

D.S. Loginovskikh, I.Yu. Ivanov

The aim of the work is to analyze the design of the slewing device and find ways to improve efficiency in operation.

Keywords: slewing ring, track rollers, ferromagnetic materials

Опорно-поворотное устройство экскаватора состоит из поворотного механизма, опорного устройства и центральной цапфы. Поворотный механизм экскаватора служит для вращения платформы экскаватора с целью осуществления рабочего движения или поворота на выгрузку.

Недостатком существующего опорно-поворотного устройства экскаватора является относительно небольшой диаметр роликового круга и ограниченное количество роликов, что приводит к высоким нагрузкам на его опорные поверхности, верхний и нижний рельсы и ролики. Также недостатком опорно-поворотных устройств является высокий уровень трения между опорным катком и осью сепаратора. Для стабильной работы экскаватора приходится часто проводить техническое обслуживание опорно-поворотного механизма, в частности, проводить смазочные работы 1-2 раза в месяц, что увеличивает время простоя экскаватора.

Для решения вышеперечисленных недостатков предлагается произвести модернизацию существующего опорно-поворотного механизма экскаватора.

На рис. 1 представлено опорно-поворотное устройство, состоящее из центральной цапфы 1, нижнего 2 и верхнего 3 двухрельсовых кругов катания, опорных катков 4, заключенных в обойму 5 и посаженных на ось 6 через пространство, заполненное слоем ферромагнитных частиц 7. На каждую ось 6 и в отверстие катка 4 напрессованы соответственно втулки 8 и 9, выполненные из материала со свойствами постоянного магнита, одноименные полюсы которых контактируют с феррочастицами 7. Для изоляции магнитного поля, создаваемого втулками 8 и 9, от ферромагнитных материалов оси 6 и катка 4 предусмотрены две втулки, выполненные из антиферромагнитного материала, например, хрома, одна из которых, втул-

ка 10, запрессована между осью 6 и магнитной втулкой 8, другая втулка 11 - между катком 4 и магнитной втулкой 9.

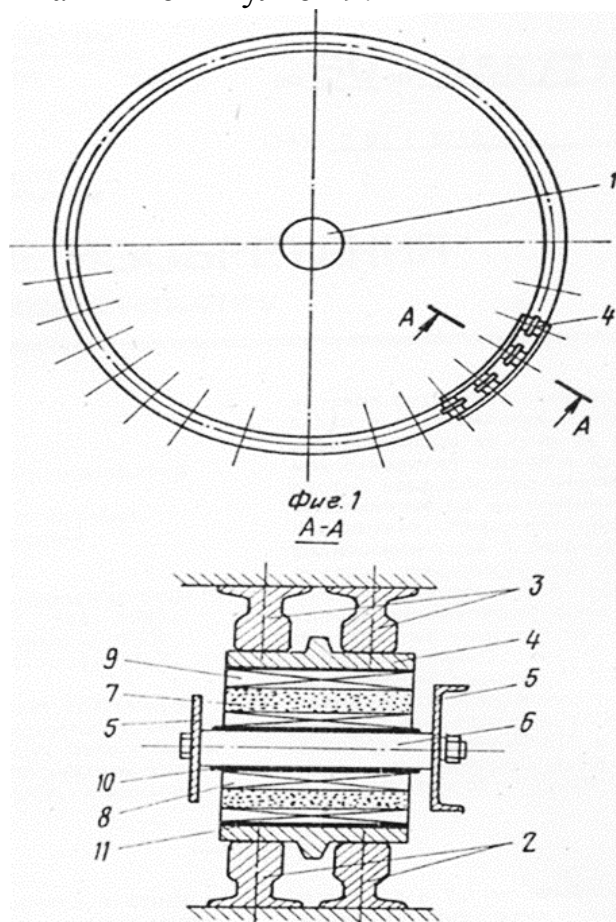


Рис.1. Опорно-поворотное устройство.

1 – центральная цапфа; 2 – нижний двух рельсовый круг катания; 3 – верхний двух рельсовый круг катания; 4 – опорный каток; 5 – обойма; 6 – ось; 7 – слой ферромагнитных частиц; 8 – втулка; 9 – втулка; 10 – втулка; 11 – втулка.

Опорно-поворотное устройство работает следующим образом. При перемещении верхней поворотной части машины относительно нижней неповоротной через катки 4 осуществляется перекатывание их по верхним 3 и нижним 2 двухрельсовым кругам. Внутри катка 4 происходит скольжение его внутренней поверхности относительно неподвижной оси 6. Благодаря заполненному пространству между катком 4 и осью 6 ферромагнитными частицами 7 не происходит непосредственного контакта катка 4 с осью 6, в то время как взаимодействуют между собой только феррочастицы 7, одни из них притягиваются к магнитной втулке 8 оси 6, а другие - к магнитной втулке 9 катка 4. Так как эти втулки обращены к ферромагнитным частицам 7 одноименными полюсами, то "скольжение" частиц катка относительно частиц оси происходит в некоторой зоне с минимальной силой трения вследствие их взаимного отталкивания. Кроме силы трения, во время работы опорно-поворотного устройства возникают горизонтальные нагрузки, создаваемые катком 4 на ось 6 из-за перекаса катка вследствие его качения по рельсовым кругам различных диаметров. При этом линей-

ная скорость перемещения поверхности катка по его образующей различна, а, следовательно, происходит "забегание" ближней к центру круга образующей катка относительно дальней. В этом случае горизонтальная нагрузка на ось гасится за счёт того, что между осью *б* и катком *4* находится упругая связь из ферромагнитных частиц *7*, которые воспринимают эту нагрузку, вытесняясь катком *4* при его перекосе в образовавшийся зазор. Таким образом, катки *4* в процессе своего качения плавно копируют все неровности пути, перемещаясь своим направляющим выступом в зазорах между рельсами, а оси *б* при этом остаются неподвижными и не воспринимают никаких нагрузок, кроме силы тяжести обоймы *5*. Втулки *8* и *9*, выполненные из материала с функциями постоянного магнита, не дают феррочастицам *7* оторваться от полости катка *4* за счёт их постоянного магнитного сцепления. Такое выполнение опорно-поворотного устройства не требует применения дополнительных смазочных средств в узле трения «опорный каток *4* - ось *б*». Упругая связь обеспечивает надёжную работу устройства.

Опорное устройство экскаватора в общем случае служит для восприятия вертикальных и горизонтальных составляющих нагрузок, действующих на поворотную платформу.

На рис. 2 представлено опорно-поворотное устройство, состоящее из секций кольцевого сепаратора, имеющих внутренние *1* и наружные *2* кольцевые обоймы, между которыми на осях *3* установлены ролики *4*, контактирующие с верхним *5* и нижним *6* опорными кольцевыми элементами. Между роликами *4* и внутренними *1* и наружными *2* кольцевыми обоймами расположены шайбы *7*.

Секции кольцевого сепаратора между собой соединены при помощи эластичных элементов, выполненных в виде проволочных стальных канатов *8*. Канаты *8* попарно закреплены при помощи втулок *9* на концах внутренних *1* и наружных *2* кольцевых обоймах. Крепление стальных канатов *8* во втулках *9* производится любыми из известных способов, например, легкоплавким материалом или зажимами, а втулки *9* жёстко закреплены на кольцевых обоймах при помощи сварки.

В качестве решения для устранения недостатков опорно-поворотного устройства, предлагается заменить чугунные втулки роликов, на втулки, выполненные из материала со свойствами постоянного магнита, пространство между втулками заполнить ферромагнитными частицами, а для изоляции магнитного поля создаваемого втулками со свойствами постоянного магнита установить две втулки, выполненные из антиферромагнитного (например, хрома) материала одну между осью сепаратора и магнитной втулкой, другую между катком и магнитной втулкой.

Благодаря заполненному пространству между катком и осью сепаратора ферромагнитными частицами не происходит непосредственного контактирования катка и оси сепаратора, в то время как взаимодействуют между собой только ферромагнитные, частицы, одни из которых притяги-

ваются к магнитной втулке оси сепаратора, другие к магнитной втулке катка. Так как эти втулки обращены к ферромагнитным частицам одноименными полюсами, то скольжение частиц катка относительно частиц оси сепаратора происходит в некоторой зоне контакта ферромагнитных частиц с минимальной силой трения.

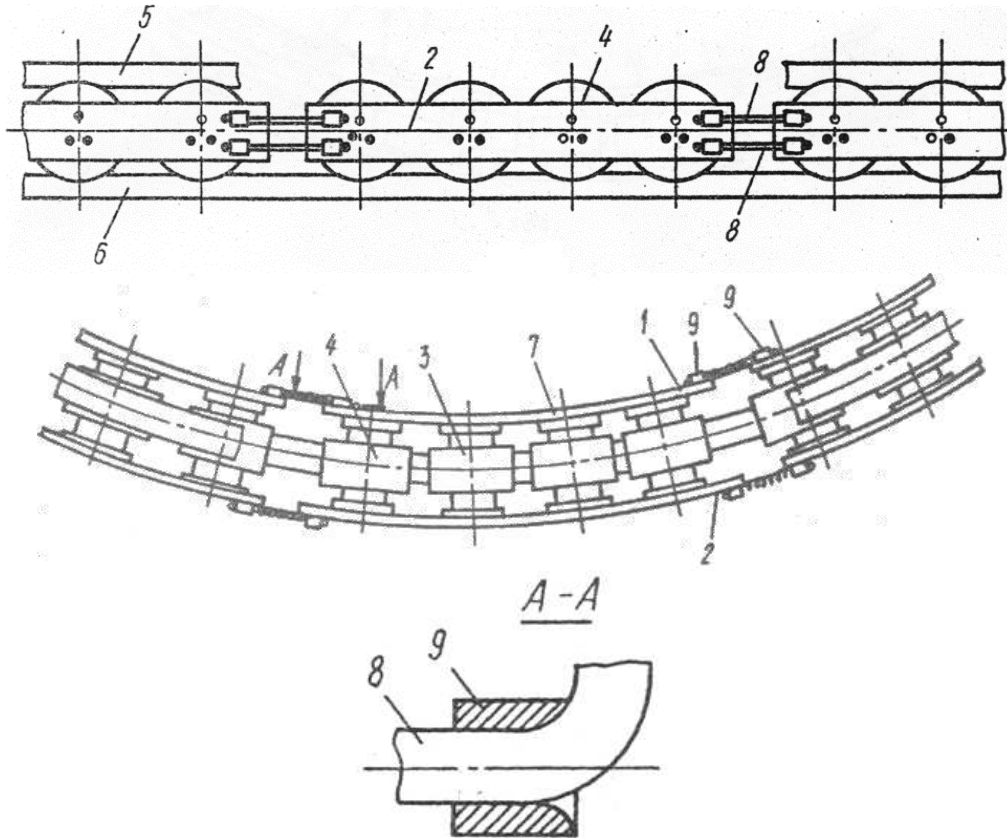


Рис. 2. Опорно-поворотное устройство

1 – внутренние кольцевые обоймы; 2 – наружные кольцевые обоймы; 3 – ось; 4 – ролики; 5 – верхний опорный кольцевой элемент; 6 – нижний опорный кольцевой элемент; 7 – шайба; 8 – крепление стальных канатов; 9 – втулка.

В результате усовершенствования конструкции опорно-поворотного устройства экскаватора уменьшатся затраты на проведение плановых ремонтов, сократятся затраты запчастей и материалов и увеличится производительность, а именно:

- уменьшение затрат на смазывающие материалы на 5% и работы по их смазыванию за счет использования вместо роликов с чугунными втулками, ролики с магнитными и антиферромагнитными втулками;

- увеличение коэффициента использования оборудования за счет уменьшения времени проведения работ планово-технического обслуживания экскаватора: осмотр и смазка осей роликов – 15 минут в смену при осмотре 1 раз в две смены, осмотр и замена роликов и втулок при техническом осмотре один раз в месяц – 1 час, уменьшение аварийных простоев – 30 час/год.

- уменьшение цикла экскавации за счет уменьшения коэффициента трения и увеличения инертности поворотной платформы – 1 секунда;
- уменьшение трения между опорным катком и осью сепаратора.

Список литературы

1. Патент № 2425193 – Немировский П. И., Веденяпин А. В., Костюкович Н.И.
2. Патент № 2187603 – Собченко Б.С., Самохин В. В, Пещеров В. В., Самохвалов В. В.
3. Логиновских Д.С. ВКР 11.00.000 «Выбор основных параметров карьерного экскаватора, и разработка конструкции поворотного механизма» 2023.-103 с..
4. Подэрни Р.Ю. «Горные машины и комплексы» – М.: Недра, 1985.-544.

УДК 622.23.05

ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ВЫЕМОЧНЫХ КОМБАЙНОВ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ МЕХАНИЗАЦИИ ОЧИСТНЫХ РАБОТ В АРКТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

С.А. Майоров, канд. техн. наук, гл. конструктор,
ООО КОМПАНИЯ «ПРОМВЕНТ», г. Омск, Россия.

Приведен обзор проблем, возникающих при работе и развитии выемочных комбайнов, а также горного оборудования в целом, в арктических регионах.

Ключевые слова: Арктика, транспорт, выемочное оборудование, очистные работы, надежность.

PROSPECTS AND PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF MINING MACHINES AND EQUIPMENT FOR THE MECHANIZATION OF CLEARING OPERATIONS IN THE ARCTIC.

S.A. Mayorov

The article provides an overview of the problems arising during the operation and development of mining machines, as well as mining equipment in general, in the Arctic regions.

Keywords: Arctic, transport, mining equipment, cleaning operations, reliability.

Выемочный комбайн – это комбинированная горная машина, обеспечивающая одновременно как механизацию отдельного полезного компонента от забоя, так и его разрушение, и погрузку на транспортную машину или агрегат [1].

Транспортно-выемочные комплексы могут включать в себя ряд машин и агрегатов, обеспечивающих разрушение породы, его погрузку и транспортировку для дальнейшей обработки добытого сырья. Крайне важным критерием работы таких машин и агрегатов является надежность оборудования входящего в комплекс.

Северные арктические области, как нашей, так и других стран, являются особо тяжелыми, с точки зрения условий работы и эксплуатации для подобного рода комплексов. Но ресурсный потенциал таких областей очень велик, что вызывает прямую необходимость в адаптации техники к условиям крайнего севера, обеспечению ее непрерывной работы и удобству эксплуатации [2].

Несмотря на то, что разработка месторождений области Арктики, несет за собой высокие финансовые расходы, она считается прибыльной ввиду высокой концентрации полезного сырья в добываемой породе. Расходы вызваны повышенными затратами на материалы оборудования, способные обеспечивать необходимый ресурс и работоспособность машин в области крайнего севера, затраты на рабочую силу в сложных для жизни условиях, доставку оборудования и людей на место работы, поддержание экологии и др.

Острота проблемы повышения надежности горнотранспортного оборудования обуславливается: поточно-циклическим характером производства, опережающим усложнением конструкций горного оборудования (механических, электрических, гидравлических систем) по сравнению с внедрением современных методов повышения надежности сложных систем управления; увеличением количества горного оборудования, работающего в районах с низкими температурами (районы Заполярья, Якутии, Сибири, Дальнего Востока); низкой надежностью и малыми сроками службы деталей и узлов значительной части горного оборудования, что вызывает неоправданно большие трудовые и материальные затраты на ремонты [3].

В современных условиях возникает проблема обеспечения высокой технологичности горного оборудования при ремонтах, т.е. совокупности свойств, позволяющих добиться оптимальных затрат времени, труда и затраченных средств на ремонтах, исходя из показателей качества, объема выпуска и условий выполняемых работ. Значимость этой проблемы вызвана еще и тем, что на горных предприятиях Севера в ремонтной службе ощущается недостаток поставки заводами-изготовителями ремонтной документации, оснастки, приспособлений и специального оборудования, запчастей для выполнения ремонтных работ [4].

Несмотря на все вышперечисленные нюансы, развитие горнопромышленной отрасли, в северных регионах является перспективной, позволяющей применять/использовать новые идеи и технологии. Необходимо пересмотреть методы, конструкцию и принципы работы машин и агрегатов, чтобы улучшить их эксплуатационные характеристики в целом [5].

Выводы. Необходимо рассмотреть каждый механизм/узел более локально, чтобы выявить текущие проблемы оборудования повысить его срок службы и удобство в эксплуатации. Рассмотреть возможность разделения комплекса на модули приемлемой величины, чтобы упростить замену/ ремонт оборудования. Использовать современные технологии диагностики, а так же системы моделирования для проведения теоретических экспериментов с нагрузками, для корректировки выбора материалов, чтобы повысить ресурс машин.

Список литературы

1. Машины и оборудование для шахт и рудников. Справочник. М.: МГГУ, 1994. 471 с.
2. Направления комплексной механизации разработки крутых и наклонных пластов. Под редакцией Графова Л.Е. М.: Недра, 1974. 208 с.
3. Квагинидзе В.С. Диагностика, техническое обслуживание и ремонт карьерного горно-транспортного оборудования в условиях низких температур: Дис... докт. техн. наук: 05.05.06. – Куз. гос. техн. университет, Кемерово, 2003.
4. Копылов К.Н., Кубрин С.С., Загоршменный И.М., Решетняк С.Н. Резервы повышения эффективности работы выемочных участков угольных шахт. М.: «Уголь» №3-2019, 46-49 с.
5. Филина В.Н. Транспортное обеспечение арктических территорий // Проблемы развития территории. 2021. Т. 25. № 2. С. 24-43.

УДК 622-1/-9

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ НАЛИПАНИЯ И НАМЕРЗАНИЯ ГОРНОЙ МАССЫ НА РАБОЧЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЭКСКАВАТОРОВ

М.С. Мамаева¹, С.В. Горюнов¹, А.А. Хорешок²

¹ Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, филиал в г. Прокопьевск, РФ,

² Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, РФ

Налипание и намерзание горной массы на поверхности рабочего оборудования экскаваторов при проведении вскрышных работ снижает эффективность работы экскаватора и предприятия в целом, для предотвращения этого существует необходимость изучения физической модели взаимодействия частиц грунта с поверхностями рабочего оборудования экскаваторов. Моделирование процессов налипания и намерзания горной массы на рабочее оборудование экскаваторов позволит выявить основные факторы, влияющие на эти процессы, и разработать наиболее эффективные способы борьбы с ними.

Ключевые слова: *вскрыша, налипание, намерзание, процесс, моделирование, экскаватор, рабочее оборудование, способы борьбы.*

MODELING OF THE PROCESSES OF STICKING AND FREEZING OF ROCK MASS ON THE WORKING EQUIPMENT OF EXCAVATORS

M.S. Mamaeva, S.V. Goryunov, A.A. Horeshok

Sticking and freezing of rock mass on the surface of excavators' working equipment during stripping reduces the efficiency of the excavator and the enterprise as a whole, in order to prevent the occurrence of these processes, there is a need to study the physical model of the interaction of soil particles with the surfaces of excavators' working equipment. Modeling of the processes of sticking and freezing of rock mass on the working equipment of excavators will allow identifying the main factors affecting these processes and developing the most effective ways to combat them.

Keywords: *overburden, sticking, freezing, process, modeling, excavator, working equipment, methods of struggle.*

Одним из основных технологических процессов горных работ, для подготовки запасов полезного ископаемого к выемке, является проведение вскрышных работ. При расчете затрат на проведение вскрышных работ, 65% от общих затрат относится к затратам на проведение экскавационных работ (Рисунок 1).

В зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий, на вскрышных работах используются самые разные типы экскаваторов. Навесное оборудование экскаваторов также значительно отличается [1]. Типы и назначения описаны в таблице № 1.

Предварительно проведенный анализ на некоторых предприятиях Кузбасса показал, что экскаваторный парк, включает в себя, различные марки экскаваторов, с разными объемами ковшей. В основном используется обратный тип лопаты. Способы борьбы с налипанием на данных предприятиях, не отличаются разнообразием. Для шагающих экскаваторов марки ЭШ используется подогрев ковша открытым огнем (40-50 минут),

для экскаваторов карьерных гусеничных (ЭКГ) используется подогрев ковша открытым способом, а также пропусканием через ковш крупных кусков породы, для гидравлических экскаваторов – пропускание через ковш крупных кусков породы, а также очистка вертикальной металлической трубой с фиксированным основанием (металлический ёж) в течении 20-35 минут. Механические и тепловые способы борьбы с налипанием негативно сказываются на рабочем оборудовании экскаваторов, на поверхностях ковшей происходит повышенный износ, из-за чего возникает необходимость периодически производить восстановление изношенных участков.

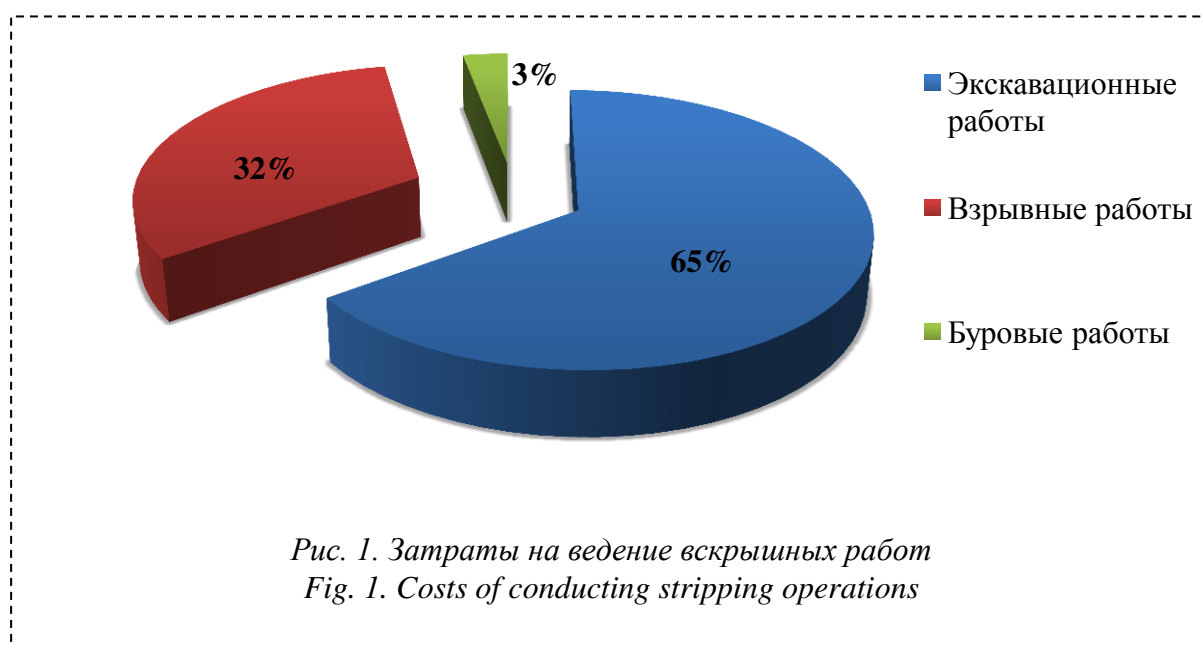


Рис. 1. Затраты на ведение вскрышных работ
Fig. 1. Costs of conducting stripping operations

Таблица 1. Типы экскаваторов эксплуатируемых при проведении вскрышных работ.
Table 1. Types of excavators operated during stripping operations.

Тип экскаватора	Назначение
1. С прямой лопатой	Предназначен для выемки пород выше уровня площадки, на котором стоит экскаватор. Направление движения ковша «от себя». Нижняя часть ковша открывается.
2. С обратной лопатой	Предназначен для выемки пород ниже площадки, на котором стоит экскаватор. Движение ковша «на себя»
3. Драглайн	Оснащен очень подвижным рабочим оборудованием, что позволяет охватить больший радиус обрабатываемого участка.
4. Грейфер	Оснащен двухлопастным ковшом. Используется для выемки в более глубоких котлованах. (6-30 м)
5. Роторный	Высокопроизводительный экскаватор, оснащенный большим количеством ковшей. Ротор используется для разрушения и выемки вскрышных пород.

Основным факторами влияющим на налипание является влажность грунта и его состав. Так при проведенных лабораторных исследованиях, было установлено, что процесс налипания начинается при влажности грунта равной примерно 12%, свое максимальное значение липкость приобретает на 27-28% влажности, а вот после преодоления этой отметки липкость начинает падать, из-за образования свободных частиц воды в грунте.

В тоже время липкость у разного типа грунтов будет существенно различаться. Например, у песков и супесей липкость ничтожна по сравнению с липкостью глинистых грунтов. Для Западной Сибири и Кузбасса наиболее распространенными считаются пылеватые суглинки.

Наибольшая часть налипшей горной массы концентрируется в мертвых зонах ковша экскаватора, это места сопряжения различных конструктивных элементов ковша, в которых происходит малоинтенсивное продвижение грунта при его заполнении.

Также налипание происходит и с внешней стороны. Задняя стенка ковша, места соединений элементов, боковые части подвергаются сильному налипанию, из-за чего увеличивается масса ковша (Рис. 2)



Рис. 2. Гидравлический экскаватор ЭО-5126 во время эксплуатации
Fig. 2. Hydraulic excavator EO-5126 during operation

По своей сути копание (черпание) – это достаточно сложный процесс. В основном процесс копания (черпания) рассматривают в упрощенном виде, где рассматривают движение рабочего органа в грунте. Передняя кромка рабочего органа внедряется в грунт, под ее воздействием грунт начинает уплотняться и в нем возникают напряжения, увеличивающиеся по мере движения рабочего органа. Когда напряжения достигают своих максимальных величин, и начинают превосходить сопротивление разрушению, грунт сдвигается по плоскости, в которой эти напряжения будут больше всего. Данный процесс будет повторяться многократно, по мере

воздействия рабочего органа на последующие элементы грунта. Отделяющиеся от грунта элементы образуют стружку, которая перемещается по поверхности рабочего органа экскаватора.

На рабочий орган экскаватора, во время копания (черпания), будет действовать сила сопротивления грунта копанию, которая рассматривается как сумма реакций грунта на рабочий орган [1]. Работы по определению сопротивления копанию грунта рабочими органами экскаваторов были проведены проф. Н.Г. Домбровским. Им предложена следующая формула для определения силы P_1 :

$P_1 = P_p + P_T + P_{np} = K_p b h + P_2 \mu_1 + q k_n \varepsilon$, где P_p – сопротивление грунта резанию; P_T – сопротивление трения ковша о грунт; P_{np} – сопротивление перемещению призмы волочения и грунта в ковше; P_2 – составляющая силы сопротивления копанию, нормальная к траектории движения ковша; q – емкость ковша; k_n – коэффициент наполнения ковша; ε – коэффициент сопротивления перемещению грунта в ковше [2].

Величина силы P_1 и относительная величина трех ее составляющих зависят от крепости горной породы и конструкции ковша. С увеличением крепости горной породы абсолютная величина силы P_1 возрастает, в то время как составляющие силы увеличиваются незначительно, что и вызывает уменьшение их относительной величины. Более благоприятные условия работы ковша экскаватора прямая лопата (большой наклон траектории ковша к горизонту при его подъеме) способствуют значительному уменьшению величины силы P_1 (Рис.3)

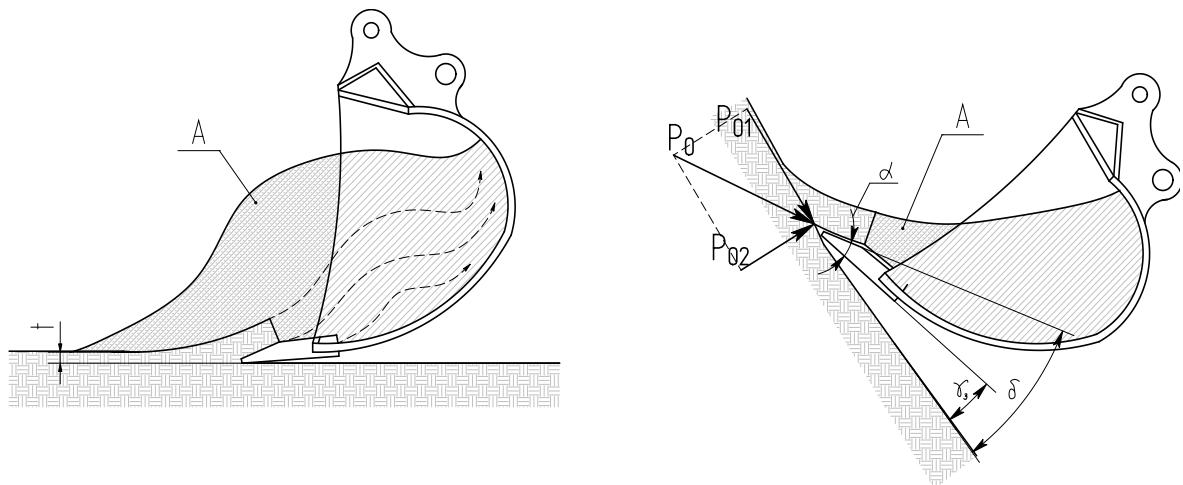


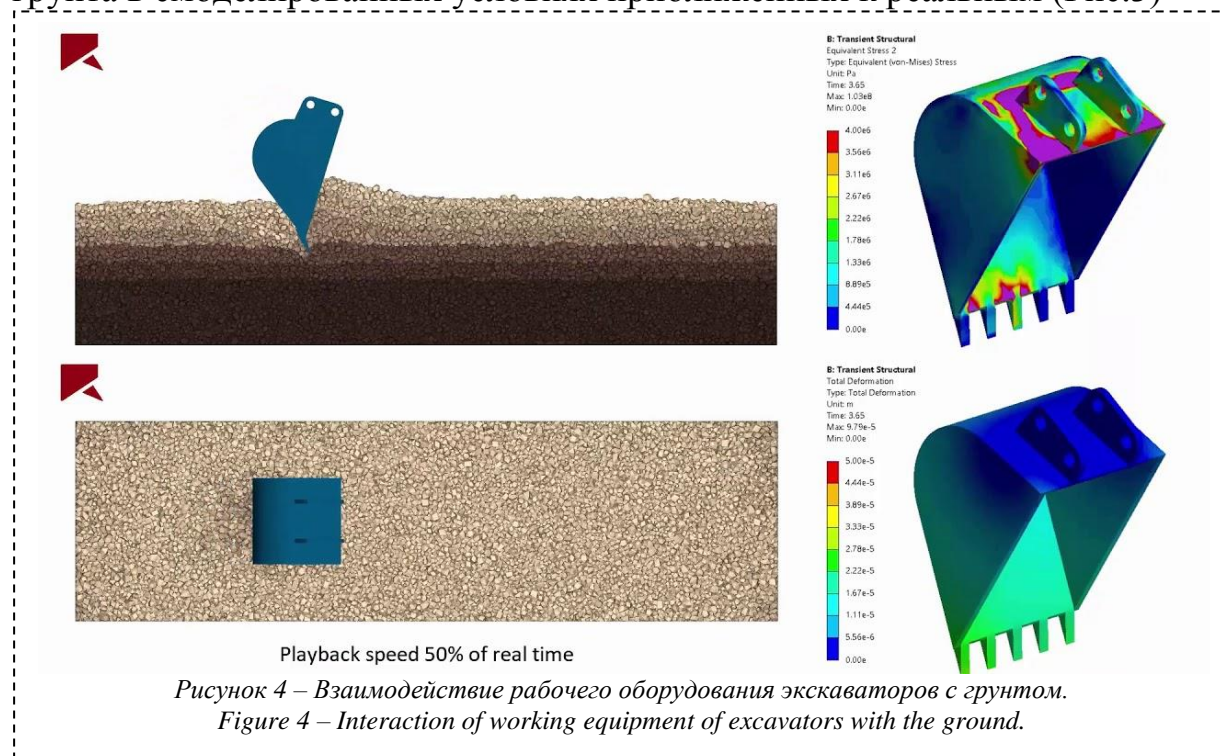
Рис. 3. Призма волочения (A) при траектории ковша
а – горизонтальной; б – наклонной

Fig. 3. The drawing prism (A) with the bucket trajectory
a - horizontal; b - inclined

Существующая методика по определению геометрических параметров проведения экскавации, основанная на экспериментальных натуральных испытаниях Н. Г. Домбровского и Ю. А. Ветрова, является затратной и

трудоемкой. Эти недостатки могут быть устранены, если будет создана новая методика, основанная на современных методах моделирования как самих конструктивных элементов с помощью ЭВМ, так и способов расчета их напряженно-деформированного состояния и действующих сил при ведении работ [3].

При моделировании процесса копания (черпания) нужно рассматривать взаимодействие грунта с рабочим органом детально, для построения наиболее адекватной модели. В настоящее время многие пакеты программ для твердотельного моделирования позволяют смоделировать процесс работы экскаватора. Это такие программы как Matlab Simulink, Ansys Mechanical и т.п. Для моделирования процессов взаимодействия рабочего органа с грунтом, наиболее подходящей является программа Rocky Dem, где можно разработать непосредственно поведение рабочего оборудования и грунта в смоделированных условиях приближенных к реальным (Рис.3)



Рассмотрев несколько специализированных пакетов программ по автоматизированному проектированию, наилучшим выбором стало использование нескольких программ и в будущем интеграция этих программ позволит рассчитать поведение грунта в самых различных условиях. Расчет рабочего оборудования экскаватора и создание твердотельной модели, удобнее всего проводить в Matlab Simulink (Рис.4).

Для построения модели используются параметры грунта, описанные в ГОСТ 25100-2011 «Грунты. Классификация». Основные показатели свойств грунтов:



Рис. 5. Твёрдотельная модель рабочего оборудования экскаватора, созданная в среде Matlab Simulink

Fig. 5. Solid-state model of excavator working equipment created in the Matlab Simulink environment

Коэффициент водонасыщения

- Природная влажность
- Плотность частиц грунта
- Плотность воды.

Коэффициент пористости

- Плотность частиц грунта;
- Плотность сухого грунта.

Липкость (Прилипаемость)

Льдистость грунта за счет видимых ледяных включений

- Суммарная влажность мерзлого грунта;
- Влажность мерзлого грунта, расположенного между ледяными включениями;
- Плотность частиц грунта;
- Плотность льда.

Пористость грунта

Сложность построения моделей заключается в том, что поведение грунта будет сильно меняться в зависимости от основных свойств грунтов (упругих, вязких, пластичных). Реальные грунты имеют все эти свойства одновременно, и построение моделей будет осуществляться путем последовательного или параллельного соединения нескольких простейших элементов [4].

Модель строилась на основе следующих предположений:

- 1) грунт неводонасыщенный, дисперсный, обладает вязкоупругими свойствами;
- 2) воздействие на грунт – плавное, скорость внедрения в грунт равно рабочей скорости V ;
- 3) угол внедрения рабочего органа в грунт, является постоянным;
- 4) объем призмы волочения, рассчитывается в зависимости от ширины передней кромки и объема ковша.

Список литературы

1. Строительные машины. — Текст : электронный // staff.tiame.uz : [сайт]. — URL: <https://staff.tiame.uz/storage/users/487/books/X32sI2oTP48huE1rKeDxOoxkqYGPfemRtU5mgsbG.pdf> (дата обращения: 24.02.2023).
2. Эффективность процесса резания обеспечивается при оптимальных углах резания и рациональной геометрии режущего инструмента. — Текст : электронный // studopedia.net : [сайт]. — URL: https://studopedia.net/14_40387_effektivnost-protsesssa-rezaniya-obspechivaetsya-pri-optimalnih-uglah-rezaniya-i-ratsionalnoy-geometrii-rezhushchego-instrumenta.html (дата обращения: 24.02.2023).
3. Пудов, Евгений Юрьевич. Определение рациональных параметров грунторазрушающих элементов ковшей гидравлических экскаваторов : диссертация ... кандидата технических наук : 05.05.06 / Пудов Евгений Юрьевич; [Место защиты: Кузбас. гос. техн. ун-т]. - Кемерово, 2012. - 155 с. : ил.
4. Хохлов, В. К. Исследование влияния свойств грунта на характеристики сейсмических сигналов / В. К. Хохлов, И. А. Кандидатов // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Машиностроение. – 2013. – № 1(90). – С. 23-37. – EDN PYCDYV.
5. Патент на полезную модель № 215016 U1 Российская Федерация, МПК E21C 39/00, G01N 19/00. Устройство для измерения прочности и липкости горных пород : № 2022126697 : заявл. 14.10.2022 : опубл. 24.11.2022 / Л. Е. Маметьев, Н. Т. Бедарев, Е. Ю. Пудов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева". – EDN VTEQMV.
6. Конструктивно-технологические особенности адаптерных узлов ковшей гидравлических экскаваторов / С. М. Силютин, А. А. Хорешок, О. В. Любимов, Е. Ю. Пудов // Инновации - основа комплексного развития угольной отрасли в регионах России и странах СНГ : Материалы II Международной научно-практической конференции, Прокопьевск, 17 апреля 2009 года. – Прокопьевск: Филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева" в г. Прокопьевске, 2009. – С. 277-279. – EDN WWYMIB.
7. Mamaeva, M. Analysis of ways to combat the sticking of rocks on the working equipment of mining machines / M. Mamaeva, I. Muagkih, O. Semenova // E3S Web of Conferences : VIth International Innovative Mining Symposium, Kemerovo, 19–21 октября 2021 года. Vol. 315. – Kemerovo: EDP Sciences, 2021. – P. 03002. – DOI 10.1051/e3sconf/202131503002. – EDN FEGJBV.
8. Мамаева, М. С. Подход к анализу факторов, влияющих на налипание и примерзание связанных пород к рабочему оборудованию экскаваторов в условиях Кемеровской области / М. С. Мамаева, Д. С. Комаров, В. С. Ерастов // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2022 : Сборник материалов XIX Международной научно-практической конференции, Кемерово, 23–24 ноября 2022 года / Редколлегия: А.А. Хорешок (отв. редактор), А.И. Фомин [и др.]. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2022. – С. 409.1-409.7. – EDN COSPKS.

УДК 622.23.05

СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ ОБВОДНЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

А.А. Мякотных¹, асп., Э.А. Вагапова¹, асп., П.В. Иванова¹, доц., С.Л.Иванов¹, проф.
¹Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

Обеспечение рационального и эффективного использования природных ресурсов, как и развитие минерально-сырьевой базы являются задачами стратегии национальной безопасности РФ, что подразумевает собой и развитие новых технологий для осуществления добычи сырья, в частности, торфа, так как традиционным способам добычи торфа характерно негативное влияние на окружающую среду, целесообразно совершенствование геотехнологий торфа, осуществляемых на естественных обводненных залежах, идеи которых представлены в данных материалах.

Ключевые слова: торф, торфяное сырье, комплекс добычи, геотехнология, технология добычи торфа.

MEANS AND TECHNOLOGIES FOR THE EXTRACTION OF PEAT RAW MATERIALS IN WATERLOGGED FIELDS

A.A. Myakotnykh, E.A. Vagapova, P.V. Ivanova, S.L. Ivanov

Ensuring rational and efficient use of natural resources, as well as the development of mineral resource base are the objectives of the national security strategy of the Russian Federation, which implies the development of new technologies for the extraction of raw materials, in particular, peat, since the traditional methods of peat mining is characterized by a negative impact on the environment, it is advisable to improve the geotechnology of peat, carried out on natural waterlogged deposits, which ideas are presented in these materials.

Keywords: peat, peat raw materials, extraction complex, geotechnology, peat extraction technology.

В сегодняшних непростых условиях развития страны – обеспечение национальной безопасности является актуальной задачей развития отечественных технологий и инноваций. Одним из приоритетных направлений, при этом, является эффективная добыча природных ресурсов в сочетании с рациональным природопользованием в рамках климатически нейтральной хозяйственной деятельности на основе наилучших доступных технологий (НДТ). В Стратегии национальной безопасности РФ указаны следующие пути достижения искомых результатов в данной области - это устойчивое развитие минерально-сырьевой базы, экологическая реабилитация территорий, предотвращение загрязнения водных экосистем, их восстановление, а также замещение импортного оборудования на горные и технологические машины отечественного производства, развитие научной инфраструктуры и т.д. [1, 2]. В этой связи торф является стратегическим ресурсом для нашей страны, Россия обладает 35% мировых запасов торфа, однако значительные запасы этого сырья сильно обводнены [3], что требует разработки новых технологий и оборудования для их осуществления.

На сегодняшний день основными способами добычи являются: фрезерный способ добычи, экскаваторный способ добычи кускового торфа, фрезформовочный способ добычи кускового торфа и гидромеханизированный способ [4]. Анализируя несовершенство существующих технологий добычи, учитывая сезонность работ и невозможность их осуществления на неподготовленных территориях и сильнообводненных месторождениях, актуальным является совершенствование существующих способов добычи до достижения возможности проведения добычных работ на участках без их водопонижения и по возможности без предварительной подготовки.

Выбор рациональных технологических схем добычи сырья обводненных торфяных месторождений осуществляется в рамках сплошной однобортовой (двухбортовой) продольной (поперечной) системы разработки, с параллельным подвиганием фронта работ длинной (короткой) оси карьерного поля, выемкой обводненной торфяной массы на всю (заданную) глубину залежи экскаваторно-транспортно-разгрузочными комплексами по акад. В.В. Ржевскому. Реже применяют сплошные кольцевую или веерную системы. Разработка торфяных месторождений по классификации проф. Е.Ф. Шешко отнесена к группе систем разработки А-0 – с незначительным объемом вскрышных работ, когда способы перемещения вскрыши в отвалы не имеют существенного значения. Мощность очеса не превышает 0,5 м, а при селективной выемке очеса и торфяного сырья высокой степени разложения или комплексной выемке, когда торфяное сырье различной степени разложения подлежит смешиванию для интенсификации процесса водоотделения – вскрыша, как таковая, отсутствует. Вскрытие обводненных торфяных месторождений осуществляется, как правило, пионерным котлованом, либо прорезью. Агломерирование добытой торфяной массы предполагается либо на борту карьера, либо специальными стационарными комплексами, осуществляющими сушку и переработку торфяного сырья.

Также предлагается применение комбинации земснаряда с установкой обезвоживания торфа (Пат. № 2720341), представляющей собой плавсредство с установкой понижения влагосодержания формуемого сырья при послойном механическом отжатии торфяной пульпы в поддонах с двойным дном, что позволяет отказаться от транспортировки 890 кг воды на каждую тонну перекачиваемой торфяной пульпы, значительно снизить протяженность пульпопроводов и отказаться от полей для сушки пульпы.

Значительный эффект возможно получить применением плавучих платформ (Пат. № 2655235) с размещенным на ней комплексом агрегатированных технологических модулей добычи и переработки торфяного сырья (Пат. № 2599117, № 2651721, № 191627). Агрегатированный торфодобывающий комплекс горного оборудования обеспечивает минимум транспортных операций между функциональными элементами комплекса. Определяющим структурой комплекса, элементом являются выемочно-

погрузочные функциональные элементы, это могут быть: одноковшовый модуль экскавации или манипулятор; многоковшовый выемочный модуль; комплекс средств гидромеханизации; модуль шнековой экскавации. При значительной металлоемкости часть модулей может размещаться на борту карьера. Грузотранспортное сообщение между укрупненными блоками агрегатированного торфодобывающего комплекса горного оборудования осуществляется транспортными шаттлами (челноками).

Интересной представляется геотехнология отработки неподготовленной торфяной залежи в рамках сплошной однобортовой продольной системы разработки обратным ходом (Пат. № 2756070). Комплекс горного оборудования, расположенный на понтоне-волокуше, в зимний период размещается в центре карьерного поля. Вскрытие осуществляется прорезью по фронту комплекса. Понтон-волокуша размещенный непосредственно на поверхности залежи, обеспечивает равномерное распределение давления по всей площади соприкосновения, возникающее от веса оборудования и части добытого торфяного сырья, при этом понтон обладает положительной плавучестью. Селективная выемка осуществляется последовательной экскавацией очеса и торфяного сырья на всю глубину залежи и после отработки забоя осуществляется шаговая передвижка комплекса на ширину заходки. Добытое торфяное сырье дробится, сепарируется и отжимается непосредственно на понтоне, а обогащенный торф-сырец транспортируется к борту карьера циклическим транспортом. В процессе отработки комплекс приближается к месту складирования торфа, что упрощает транспортировку торфяной продукции путем сокращения продолжительности операций на перемещение сырья.

Другим привлекательным схемным решением являются мостовые комплексы, имеющие однопролетную мостовую платформу с опорными устройствами передвижения шагающего, колесного или гусеничного типа. На мосту располагают оборудование экскавации торфяного сырья и проведения вспомогательных операций. Добытое торфяное сырье транспортируют до места переработки непрерывным или циклическим транспортом. Так мостовой комплекс (Пат. № 2684269) реализует сплошную однобортовую продольную систему разработки. Забой образуют двумя параллельными, опережающими траншеями, находящимися друг от друга на расстоянии длины моста комплекса. Оработка забоя осуществляется короткими проходками эскалирующего исполнительного органа по фронту моста. В траншеях устанавливают на свайных опорах настил, по которому перемещают мостовую платформу на колесных опорах [5].

Организация горных работ на обводненных торфяных месторождениях предполагает автономность используемого оборудования, при этом высокая энерговооруженность таких горных машин требует их оснащения силовой гидравликой. При этом необходимый высокий уровень готовности обуславливает мониторинг технического состояния этих систем, проводимый в рамках мероприятий технической технической обслуживания и ре-

монта. Эффективное средство оценки технического состояния рабочей жидкости гидравлических систем, основанное на изменении акустико-эмиссионного сигнала, реализовано в патенте № 2739147.

Перечисленные технологии добычи торфяного сырья позволят устранить ряд недостатков традиционных способов добычи торфа, в особенности, исключить операции по подготовке территорий к добыче торфяного сырья. Совокупность мероприятий по внедрению усовершенствованных геотехнологий на реальные месторождения позволит развить минерально-сырьевую базу, снизить техногенное воздействие на водные экосистемы, а также повысить развитие отечественных технологических машин и оборудования для добычи торфа.

Список литературы

1. Евзеров В.Я. Торф – неиспользованный сырьевой ресурс северо-запада Российской Арктики / В.Я. Евзеров // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2021. № 18. С. 160–164 <https://doi.org/10.31241/FNS.2021.18.029>;
2. Алпеева Е.А., Гончаров М.С. Торфяная промышленность Российской Федерации: проблемы и перспективы/ Е.А. Алпеева, М.С. Гончаров// Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 3. С. 121-130.
3. Носков И.В., Ананьев С.А., Осипова М.А. Исследования компрессионных свойств торфа как материала для устройства оснований зданий и сооружений на заболоченных территориях / И.В. Носков, С.А. Ананьев, М.А. Осипова // Вестник Евразийской науки, 2021. №2, <https://esj.today/PDF/47SAVN221.pdf>
4. Гамаюнов С.Н., Гамаюнова А.Н. Классификация способов добычи торфа и производства торфяной продукции / С.Н. Гамаюнов, А.Н. Гамаюнова // Известия вузов. Горный журнал, 2015. № 5, С. 12-18.
5. Пермякова Е.К. Технические решения для разработки обводненных торфяных месторождений / Е.К. Пермякова // Современные тенденции и инновации в науке и производстве. Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции. Изд-во: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-издательский центр "Вестник науки" (Уфа) .2019. С. 61-66.

УДК 621.879

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ МОЩНОСТИ ПРИВОДА МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА ЭКСКАВАТОРА ТИПА ЭКГ

Е.С. Недашковская, асп., Е.И. Шешукова, асп., С.Л. Иванов, проф., док. техн. наук
Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

Приведен алгоритм оценки мощности привода механизма подъема экскаватора типа ЭКГ, необходимый для дальнейшего исследования данных во времени, поступаемых с цифрового двойника подъемного механизма карьерного экскаватора, с целью эффективной оптимизации программ технического обслуживания и ремонтов.

Ключевые слова: экскаватор типа ЭКГ, подъемный механизм экскаватора, мощность привода, предиктивная аналитика, цифровой двойник

TO THE QUESTION OF EVALUATION OF THE ELECTRIC ROPE SHOVEL LIFTING MECHANISM DRIVE POWER OF THE EKG TYPE

E.S.Nedashkovskaya, E.I. Sheshukova, S.L. Ivanov

An evaluating algorithm for the electric rope shovel lifting mechanism drive power of the EKG type is presented, which is necessary for a reliable study of data over time received with electric rope shovel lifting mechanism digital twin in order to effectively optimize maintenance and repair programs.

Keywords: electric rope shovel of the EKG type, rope shovel lifting mechanism, drive power, predictive analytics, digital twin

Основными горными машинами открытых горных работ на протяжении многих лет остаются экскаваторы: карьерные гусеничные экскаваторы (ЭКГ) и экскаваторы гидравлические (ЭГ). С их помощью реализуются функции выемки и погрузки горной массы.

Гидравлические экскаваторы выполняют работы по экскавации, горных пород при добыче полезных ископаемых открытым способом в карьерах в сложных горно-геологических условиях, работы по рытью котлованов при возведении зданий и сооружений, строительстве трубопроводов и объектов транспортной инфраструктуры. Эти машины имеют меньшую массу, более мобильны и технологически гибче, чем механические. Однако, срок эксплуатации гидравлических экскаваторов небольшой, они не подходят для сложных климатических условий, несут вред окружающей среде при протечках гидравлической жидкости.

Альтернативой гидравлическим экскаваторам являются электрические карьерные экскаваторы с прямой лопатой типа ЭКГ, так как они более надежны в эксплуатации, могут работать при экстремальных температурах окружающей среды, более экологичны в использовании.

Реализация и внедрение на горнодобывающих предприятиях РФ современной эффективной системы прогнозирования изменений в состоянии оборудования является ключевым инструментом для минимизации простоев горного оборудования, увеличения срока службы оборудования, снижения стоимости содержания оборудования, позволяющей на основе фактических данных о работе горнотранспортного

оборудования к текущему моменту времени сделать прогноз о возможности дальнейшей эксплуатации [1].

В рамках создания цифрового двойника подъемного механизма экскаватора ЭКГ-20КМ необходимо каждый момент времени цикла работы экскаватора фиксировать и оценивать мощность привода его подъемного механизма для реализации предиктивной аналитики надежности горной машины. Анализ больших данных повлечет за собой оптимизацию программ технического обслуживания и ремонтов горнотранспортного оборудования, выявит зависимость интенсивности деградации расходования ресурса подъемного механизма карьерного экскаватора.

Для оценки полезной работы, совершаемой экскаватором в процессе копания необходимо в первую очередь рассмотреть силовую загрузку на ковше в разных точках траектории: наполнение ковша (черпание), перемещение его к месту разгрузки (транспортирование), разгрузка и перемещение порожнего ковша к месту черпания.

Усилие, которое возникает в подъемном канате (канатах) механической лопаты и обуславливает нагрузку двигателя подъемного механизма при копании, вычисляется из уравнения моментов, создаваемых сопротивлением породы копанию, весом ковша с породой и весом рукояти относительно оси напорного вала. Усилие, возникающее в напорном механизме при копании, обуславливается действующими вдоль оси рукояти силами: отжимающим усилием породы, составляющей усилия в подъемном канате и составляющей веса рукояти и ковша с породой. Усилия в подъемном и напорном механизмах лопаты, соответствующие вертикальному положению подъемного каната и горизонтальному положению рукояти, принимают за расчетные при определении мощности двигателя за время копания [2].

Также в процессе передачи нагрузки немаловажно учитывать потери, возникающие при изгибе подъемного каната при прохождении через шкивы и при намотке каната на барабан.

Для окончательной оценки полезной мощности привода механизма подъема экскаватора необходимо учесть потери в редукторе: в подшипниковых опорах, зубчатых парах, уплотнениях и потери на перемешивание масла [3].

Список литературы:

1. Великанов В.С., Мусонов О.С., Панфилова О.Р., Ильина Е.А., Дёрина Н.В. Инструменты предиктивной аналитики в минимизации отказов горнотранспортного оборудования // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2021. – Т.19. – С. 5-15. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2021-19-4-5-15>
2. Квагинидзе В.С., Козовой Г.И., Чакутадзе Ф.А., Антонов Ю.А., Корецкий В.Б. Экскаваторы на карьерах. Конструкции, эксплуатация, расчет: Учебное пособие. – 3-е изд., стер. – М.: Издательство «Горная книга». – 2021. – 412 с.
3. Иванов С.Л. Повышение ресурса трансмиссий горных машин на основе оценки энергонагруженности их элементов. – СПб.: Санкт-Петербургский горный институт, 1999. – 92 с.

УДК 622.261

МЕХАНИЗИРОВАННЫЙ СПОСОБ УСТАНОВКИ АНКЕРОВ

А.Е. Окимбаева, Н.О. Ахметов

Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Р. Казахстан

Углубляясь в глубину под твердь земной поверхности, шахтеры сталкиваются с увеличивающимся горным давлением. Чем глубже ведутся горные работы, тем больше потенциальное давление на крепь. При работах глубиной более 300 метров, породы зачастую тверды и плотны что усложняет ведение горных работ. Для увеличения производительности горных работ работодатель старается внедрить все более эффективные технологии горных работ. Не последнее место к тому же занимают технологии, уменьшающие травматизм у исполнителей. Текущая технология проведения горных выработок такова что после вырубki максимум 1,75 метра груди забоя непременно нужно отгонять комбайн чтобы проходчики смонтировали крепление.

Ключевые слова: шахтеры, горное давление, анкера, комбайн, крепление, кровля, бурение.

MECHANIZED METHOD OF INSTALLING ANCHORS

A.E. Okimbayeva, N.O. Akhmetov

[Abylkas Saginov Karaganda Technical University](#)

Going deep under the firmament of the earth's surface, miners are faced with increasing mountain pressure. The deeper the mining operations are carried out, the greater the potential pressure on the support. When working with a depth of more than 300 meters, rocks are often hard and dense, which complicates mining operations. To increase the productivity of mining operations, the employer is trying to introduce more and more efficient mining technologies. Not the last place is also occupied by technologies that reduce injuries in performers. The current technology of mining is such that after cutting down a maximum of 1.75 meters from the face, it is absolutely necessary to drive away the combine harvester so that the tunnellers mount the mount.

Keywords: miners, rock pressure, anchors, harvester, fastening, roofing, drilling.

Бутылочное горлышко в проблеме увеличения темпов горных работ — это установка крепления. Правила безопасности не допускают вырубку большей глубины груди забоя, чем указано в паспорте крепления. В шахтах Карагандинского угольного бассейна используется архаичный ручной труд и технологии монтажа крепления. Что негативно сказывается на темпах проведения горной выработки, и еще более негативно сказывается на коэффициентах травматизма и абсентеизма. На этапе развития технологии проведения горных выработок, в условиях Карагандинского угольного бассейна нецелесообразно внедрять более мощный комбайн, поскольку проходчики все равно не будут успевать качественно устанавливать крепление выработки. И тем самым более мощный комбайн будет простаивать. КПД более мощного комбайна будет не высоким. Очевидно, что камень преткновения и одновременно проблема, которую надо решать это совершенствование технологии крепления горной выработки. Невозможно эффективно работать на кардинально новом оборудовании на лекалах архаичной технологии прошлого.

Монтаж СПАК (стале-полимерного крепления) - это процесс, при котором в кровлю и бока выработки внедряются металлические либо пла-

стыковые стержни с целью связать кровлю и бока выработки для предотвращения их обрушения, и продления срока службы горной выработки. По технологии монтажа можно условно разделить способы установки СПАК на ручной и автоматизированный. Технология ручная применяется у нас в Карагандинском угольном бассейне. При такой технологии проходчики вынуждены при каждом цикле бурения вручную заносить бурильный станок в забой, стоя под незакрепленной кровлей устанавливать анкера, после установки вручную выносить станок из забоя. Очевидно, что такая работа накладывает дополнительные риски в труд проходчиков. Не говоря уже о физически затратном труде, требующем от работников хороших физических показателей. Стоя под незакрепленной кровлей, есть риск частичного или полного отслоения кровли и падения ее на исполнителей.

При механизированном способе, установка анкеров осуществляется бурильным станком, установленным на самом комбайне, либо бывают отдельные бурильные станки, производящие бурение и монтаж СПАК. Внедрение отдельной машины для бурения при проведении горной выработки не представляется возможным, из-за больших габаритов стационарной бурильной установки. Для того чтобы загнать бурильный станок в забой, соответственно нужно выгнать проходческий комбайн, что при данном этапе невозможно из-за сложности подобных операций и затратах по времени. Кроме этого еще нет места, куда было-бы можно отгонять бурильный станок. Место в проходческом забое сильно ограничено.

Ввиду сказанного, о невозможности применения стационарных бурильных установок, непосредственно при проведении горной выработки. Логично рассмотреть вопрос о возможности внедрения и перехода технологии монтажа СПАК благодаря бурильному станку, установленному непосредственно на комбайне. При использовании технологии удаленного бурения, очевидно, снизится травматизм на шахте, поскольку технология дистанционного бурения и установки СПАК не предполагает нахождение людей под незакрепленным горным массивом. Под открытой горной массой находится лишь машина.

Кроме того, кардинально меняется цикл проходки. При нынешней технологии проходки, комбайн вынужден отрубать один и тот же метр минимум два раза. Происходит это из-за того, что комбайнер, рубая верх груди забоя, параллельно готовит подушку из горной массы для того чтобы проходчики могли отбурить верх. При стандартном сечении выработки в 14,4 метра ручной бурильный станок не способен сделать это с почвы. Не хватает вылета телескопии. В то же время при механизированном способе бурения шпуров и установки СПАК, нет необходимости загонять комбайн на один и тот же метр два раза. Комбайнер вполне может сразу за один раз отрубать все сечение выработки, поскольку не нужно готовить подушку для исполнителей с ручным бурильным станком. Полностью расчистив забой, исполнители могут приступать к отбуриванию и монтажу СПАК верха, а затем и боков выработки. При комбинированном способе крепления

забоя можно приступать к монтажу рамной крепи под уже обезопасенным местом.

Даже условно не учитывая скорость установки СПАК механизированно, очевидно, что за счет сокращения цикла проходки. Общее затратное время на метр проходки существенно снижается, что положительно скажется на КПД всей шахты.

Одно из главных преимуществ механизированного способа установки СПАК, это безопасность. При механизированном способе монтажа исполнители управляют анкероустановщиком дистанционно с помощью пульта (проводного и беспроводного). Тем самым нахождение под незакрепленным горным массивом люди не находятся. Это напрямую скажется на коэффициентах травматизма и абсентеизма. Мировые горные производства ставят для себя одну из первоочередных задач снижение травматизма. Очевидно, что в ближайшем будущем абсолютное большинство горных предприятий (шахты и рудники) перейдут на механизированный способ крепления с помощью СПА.

Таким образом, рабочий во время процесса крепления кровли анкерами находится в защищённом месте, а производительность только повышается.

По всей видимости, в ближайшие пять лет большинство проходческих забоев с рамно-анкерным креплением будут оборудованы проходческими комбайнами с устройствами для механизации.

В 2022 году ещё далеко не все производители проходческих комбайнов предлагают необходимое решение, но, если вопросы безопасности и повышения эффективности операций актуальны для вашего предприятия, возможно стоит обратить внимание на уже существующие решения.

Список литературы

1. Проскуряков Н. М. Управление состоянием массива горных пород. – М.: Недра, 2017. – 356 с.
2. Черняк И. Л. Управление состоянием массива горных пород. – М.: Недра, 2016. – 320 с.

УДК 622.285

О ПОДГОТОВКЕ РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ ДЛЯ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЕПЕЙ С ПОМОЩЬЮ ДИСПЕРГАТОРА С МОДУЛЯЦИЕЙ ПОТОКА

П.Б. Пашко¹, А.Л. Яблонев², д.т.н.,

¹ ООО «Пик Майнинг», г. Москва, Россия

² Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Россия

Приведены результаты экспериментального исследования по обоснованию параметров диспергатора с модуляцией потока для подготовки рабочих жидкостей механизированных крепей. Отмечено, что при значительно меньших удельных характеристиках, по сравнению с известными гидромеханическими диспергаторами, предлагаемый диспергатор обладает большей эффективностью и производит более тонкодисперсную рабочую жидкость, что, без сомнения, сказывается на долговечности и работоспособности механизированной крепи.

Ключевые слова: механизированная крепь, диспергатор, рабочая жидкость, модуляция потока, дисперсность, кавитация.

ON THE PREPARATION OF WORKING LIQUIDS FOR POWER SUPPORTS USING A DISPERSER WITH FLOW MODULATION

Pashko P.B., Yablonev A.L.

The results of an experimental study on the substantiation of the parameters of a dispersant with flow modulation for the preparation of working liquids of power supports are presented. It is noted that with significantly lower specific characteristics, compared with the known hydromechanical dispersants, the proposed dispersant is more efficient and produces a more highly dispersed working liquid, which undoubtedly affects the durability and performance of the power support.

Keywords: power support, dispersant, working liquid, flow modulation, dispersion, cavitation.

Рабочие жидкости для механизированных крепей представляют собой эмульсии, состоящие из 95-98% воды и 2-5% эмульсола [1, 2]. К ним предъявляется ряд специфических требований: однородность, высокая дисперсность, сопротивление к коагуляции [3, 4]. Специфика текущего момента заключается в том, что растворимые в воде импортные эмульсола, которые стоят больше нерастворимых отечественных почти в пять раз, активно применявшиеся в шахтах, сегодня оказались весьма дороги. Проблемы возникли и нарастают с 2014 года, существует риск в логистическом и санкционном планах. Кроме того, есть предприятия, которые используют изношенные горные крепи с повышенным расходом, у которых вообще нет средств покупать дорогой эмульсол. Выход из этой ситуации может быть найден в приготовлении эмульсий из отечественных эмульсолов с помощью специальных устройств – диспергаторов. Такая технология существовала и ранее, однако применявшиеся для этого диспергаторы обладали невысокой эффективностью и позволяли готовить эмульсии с невысокой дисперсностью. Поэтому актуальным является применение диспергатора нового технического уровня, использующего дополнительный эффект воздействия на рабочую жидкость.

Анализ известных конструкций диспергирующих аппаратов, использующих эффект ультразвука (установка с магнитострикционной колонкой, установка с гидродинамическим вихревым излучателем, гидродинамический смеситель, гидродинамический эмульгатор) показал, что роторный диспергатор с модуляцией потока (ДМП), использующий эффект кавитации, является наиболее перспективным по совокупности параметров. ДМП превосходит аналоги по таким параметрам, как дисперсность, масса, потребляемая мощность. У него лучшие показатели по удельной производительности и удельной материалоемкости, и при этом – наименьший объем гидравлического тракта, что свидетельствует о наименьших габаритных размерах. По совокупности параметров, ДМП был выбран для дальнейшей работы, как наиболее перспективный диспергатор для угольной промышленности. Он был взят за основу для последующего улучшения характеристик (с этой целью были внедрены контроль газосодержания, давления и объемного расхода, лабиринтное уплотнение). Принцип действия данного диспергатора заключается в периодическом совмещении отверстий ротора и статора для получения и поддержания процесса кавитации, повышающей интенсивность перемешивания, и позволяющей получать эмульсию с более мелким размером частиц [5]. При движении жидкости из отверстий ротора в патрубки статора наблюдается периодическое сужение площади проходного сечения, возникают переменные импульсы давления, что, в свою очередь, возбуждает импульсную акустическую и импульсную гидродинамическую кавитации. Именно кавитация делает процесс эмульгирования более интенсивным и позволяет получать более тонкодисперсные эмульсии.

Для исследования процесса приготовления рабочих жидкостей с помощью ДМП создан экспериментальный стенд (рис. 1).

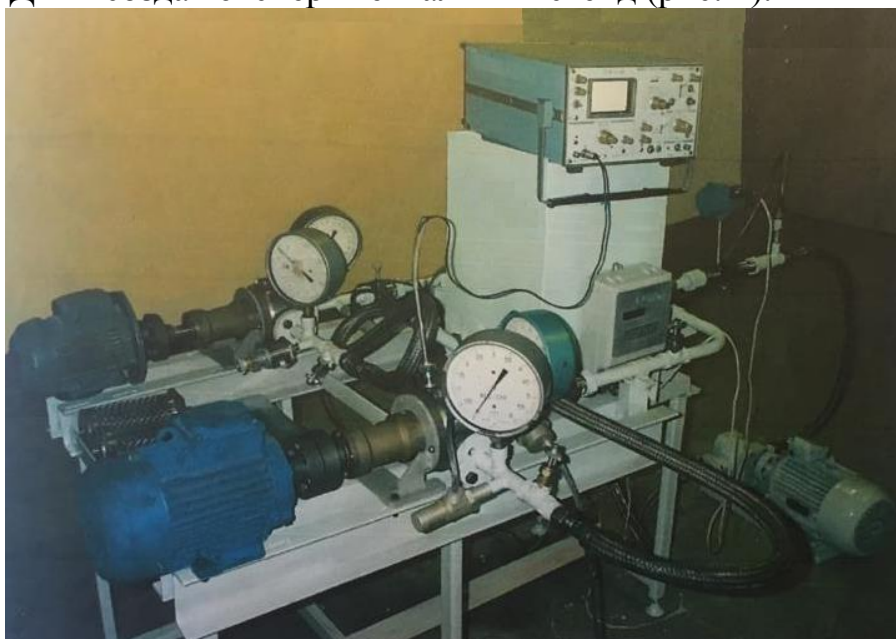


Рис. 1. Экспериментальный стенд для приготовления тонкодисперсных эмульсий

Стенд состоит из семи блоков: гидромеханического диспергатора, емкостей с подачей компонентов, линии рециркуляции, нефелометра, акустических измерений, тахометра, измерения температуры.

Конструкция ДМП была усовершенствована за счет использования лабиринтного уплотнения на боковых рабочих поверхностях ротора и статора для увеличения гидравлического сопротивления транзитному течению через зазор δ между ротором и статором и для увеличения скорости изменения плотности вводимой мощности импульса давления, что повышает качество рабочей жидкости. Лабиринтное уплотнение – совокупность канавок на рабочих поверхностях ротора и статора, его использование позволяет увеличить дисперсность эмульсии [6, 7].

Экспериментальные работы по использованию ДМП были связаны с получением эмульсии, состоящей из 98 % воды и 2 % эмульсола ЭКС-А ВВК. На фотографиях, сделанных при увеличении в 630 раз с помощью электронного микроскопа МБИ-6 (рис. 2), представлена рабочая жидкость, полученная на стенде, при различных значениях обобщенного критерия кавитации χ . Из них видно, что наиболее высокая (тонкая) дисперсность, т. е. самые маленькие капли эмульсии получают при значении обобщенного критерия кавитации 0,2. Исследования показали, что одними из основных факторов, влияющих на обобщенный критерий кавитации являются содержание свободного газа и зазор между статором и ротором, который изменялся в ходе экспериментов от 0,069 до 0,21 мм.

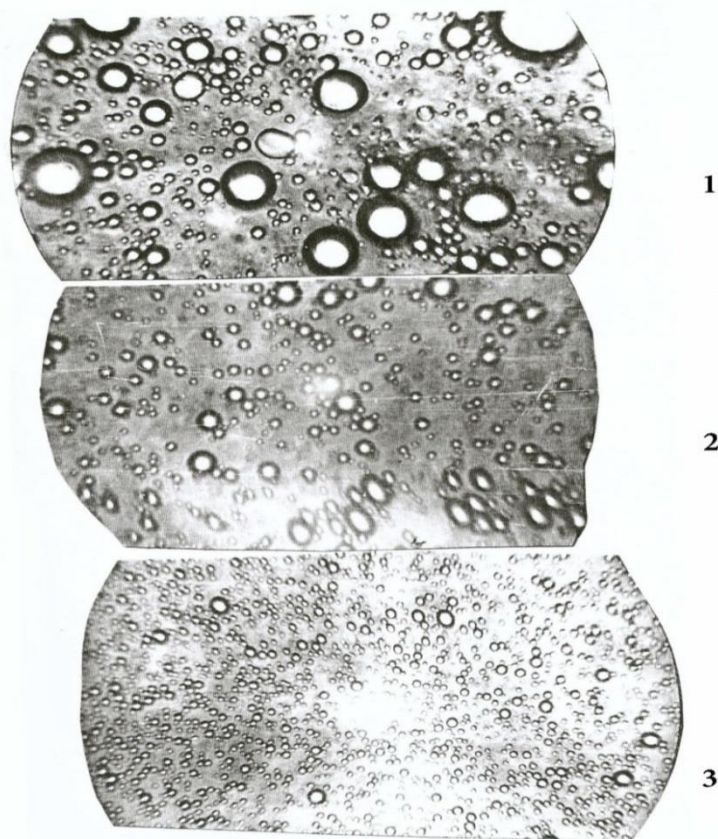


Рис. 2. Микрофотографии рабочей жидкости, приготовленной с помощью ДМП:
1 – $\chi = 0,9$; 2 – $\chi = 0,5$; 3 – $\chi = 0,2$

Выводы:

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы.

1. Обоснована необходимость применения диспергаторов с модуляцией потока для приготовления рабочей жидкости механизированных крепей.
2. Установлено, что обобщенный критерий кавитаций, когда интенсивность эмульгирования является максимальным, зависит от содержания свободного газа.
3. Разработан семиблочный экспериментальный стенд для исследования процесса эмульгирования рабочей жидкости механизированной крепи при различных параметрах ДМП, на котором получена рабочая жидкость со среднеарифметическим диаметром частиц около 2 мкм при удельном расходе энергии $0,4 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$, удельной производительностью $40 \text{ (м}^3/\text{ч})/\text{м}^3$ и удельной материалоемкостью $12 \text{ кг}/(\text{м}^3/\text{ч})$.
4. Установлено, что получение рабочей жидкости с помощью ДМП возможно осуществлять непосредственно в шахте путем однократного пропускания компонентов эмульсии через аппарат, при дисперсность получаемой эмульсии выше на 30-50 % по сравнению с эмульсиями, получаемыми в обычных гидромеханических диспергаторах.

Список литературы

1. Turuk Y.V., Lugantsev B.B., Sysoev N.I. Substantiation of Structure and Basic Design Parameters of Devices for Orienting Powered Support Relatively to Face Conveyor in Formation Plane // Proc. of the 4-th Int. Conf. on Industrial Engineering ICIE 2018. Lecture notes in mechanical engineering. 2019. - p. 1687-1693.
2. Сысоев Н.И., Турук Ю.В., Колесниченко И.Е., Луганцев Б.Б. Новые технические решения, направленные на повышение надежности и эффективности работы механизированных крепей при выемке угольных пластов // Горное оборудование и электромеханика, 2018. № 2 (136). - С. 29-34.
3. Buyalich G., Byakov M., Buyalich K., Shtenin E. Development of Powered Support Hydraulic Legs with Improved Performance // E3S Web of Conferences. 14-th International Innovative Mining Symposium, IIMS 2019, 2019. Vol. 105. - No. 03025.
4. Бяков М.А., Буялич Г.Д., Буялич К.Г., Увакин С.В. Исследование радиальных деформаций гидростоек двойной гидравлической раздвижности // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-техн. журнал), 2020. № 1. - С. 133-140. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-1-0-133-140
5. Панасенков Д.А., Зайцев А.П., Карташев А.Б., Пикалов Н.А., Дубинкин Д.М. Расчет гидромеханических потерь и моделирование кавитации в каналах гидравлического блока карьерного автосамосвала // Горное оборудование и электромеханика, 2021. № 3. - С. 3-11.
6. Пашко П.Б., Яблонев А.Л. Расчет параметров диспергатора для приготовления эмульсии механизированных крепей // Горное оборудование и электромеханика, 2022. № 1 (159). С. 28–35. DOI: [10.26730/1816-4528-2022-1-28-35](https://doi.org/10.26730/1816-4528-2022-1-28-35)
7. Яблонев А.Л., Пашко П.Б. Обоснование конструкции диспергатора для подготовки рабочих жидкостей горных механизированных крепей // Вестник ТвГТУ. Серия «Технические науки», 2023. № 1 (17). - С. 28-40.

УДК 621.879

СИСТЕМЫ "ЧЕЛОВЕК - МАШИНА - СРЕДА" НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ: НЕСКОЛЬКО СЛОВ О БИОРИТМОЛОГИИ

П.А. Побегайло¹ к.т.н.; А.Н. Ильина², доц., к.физ-мат.н.; Д.Ю. Крицкий³ инж.

¹ - Независимый исследователь, Москва, РФ; ² - ФГБОУВО МАИ (НИУ), Москва, РФ;

³ - АО "СУЭК-КРАСНОЯРСК", Красноярск, РФ

Показано, что имеет место важнейшая научная и практическая проблема для горного машиностроения - полное отсутствие биоритмологических и адапционных исследований при значительной недостаточности биологических и психологических исследований. Мало работ, где горные машины рассматриваются как элементы системы "Человек - Машина - Среда". Показано, что на первом этапе разрешения этой проблемы целесообразным является разработка и внедрение на горных предприятиях биоритмологического профиля каждого сотрудника. Дано понятие энергетической стоимости суточного цикла организма. Качественно аналогичный профиль необходим и для каждой горной машины, каждой цепочки машин при рассмотрении их на фундаменте системы "Человек - Машина - Среда".

Ключевые слова: биоритмология; система "Человек - Машина - Среда"; биоритмологический профиль; энергетическая стоимость суточного цикла организма; горные машины.

MAN-MACHINE-ENVIRONMENT SYSTEMS IN OPEN-PIT MINING: A FEW WORDS ABOUT BIORHYTHMOLOGY

P.A. Pobegailo, A.N. Ilyina, D.Yu. Kritckij

It is shown that the most important scientific and practical problem for mining engineering is the complete absence of biorhythmological and adaptation studies, with a significant lack of biological and psychological studies. There are few works where mining machines are considered as elements of the "Man - Machine - Environment" system. It is shown that at the first stage of solving this problem, it is expedient to develop and implement a biorhythmological profile of each employee at mining enterprises. The concept of the energy cost of the daily cycle of the body is given. A qualitatively similar profile is also necessary for each mining machine, each chain of machines when considering them on the foundation of the "Man - Machine - Environment" system.

Keywords: biorhythmology; Man-Machine-Environment system; biorhythmological profile; energy cost of the daily cycle of the body; mining machines

Вступление. С шестидесятых годов прошлого века в мировой науке появилось понятие комплексного исследования системы "Человек - Машина - Среда". За последние полвека в этой части вышло в свет огромное число публикаций и рекомендаций. Большая часть работ была посвящена наиболее новым и стратегически важным отраслям промышленности - энергетике и космосу (а также и военным системам).

Если проанализировать направленность очерченного корпуса трудов, то мы увидим, что большинство работ связано с эргономикой (инженерной психологией), биомеханикой (бионикой), биоритмологией, и с адаптацией Человека (или групп Людей) для различных областей человеческой деятельности.

При этом мы можем уверенно констатировать, что более традиционным областям приложения человеческих усилий, например, добыче полез-

ных ископаемых, уделялось и уделяется, куда меньшее внимание. Заметим, что после 1991 года в нашей стране это внимание упало еще больше.

Это привело к резкой диспропорции в эффективности технических решений, в части выбора и подготовки персонала, в качестве состояния здоровья персонала между традиционными и новейшими областями приложения человеческих усилий, вызывая дополнительные проблемы экологического и социального характера.

Не меньшая диспропорция произошла и в части направленности такого рода исследований. Так, если исследования биомеханики (особенно в области анализа действия вибрации на Человека) и эргономики в традиционных областях периодически встречаются (однако для открытых горных работ таких исследований все равно недостаточно), то вопросы биоритмологии и адаптации Человека практически выпали из поля зрения инженеров и ученых.

Поэтому любые позитивные сдвиги в этой области, например, в приложении к открытым горным работам, к применяемым там машинам и работающим Людям, являются актуальными и востребованными.

Биоритмология (хронобиология) и адаптация. Известно, что в естествознании проблема биологических ритмов занимала и занимает особое место, и интерес к её изучению имеет уже более чем двухвековой срок.

С середины прошлого века в хронобиологии произошли существенные позитивные сдвиги, т.к. впервые были начаты систематические и широкие работы по анализу биологических ритмов человека в самых разных условиях его бытия. Ряд научных школ стали рассматривать периодичность функционирования человека как основное свойство живого организма (а, иногда, и групп людей).

Это связано, с одной стороны, с резким ростом технических возможностей инженеров и ученых, а с другой стороны - с существенным расширением ареала обитания людей и с ростом их численности. При этом произошло: расширение временных границ бодрствования; снижение доли периодов расслабления и увеличение времени напряженного бодрствования в суточном цикле; учащение различных стрессовых нагрузок; появление частых и резких изменений привычной временной и природной среды.

При этом доказано, что неблагоприятные факторы окружающей среды приводят к различным повреждениям биологических ритмов человеческого организма, в частности, к развитию основной формы хронопатологии - десинхронозу (причем, в наше время, считается, что основными его причинами являются нарушение режима труда и отдыха). Вследствие этого растет число нервно-психологических и сердечнососудистых заболеваний, а также и число аварий.

Однако и тогда, и сейчас требование учёта времени в качестве реального действующего фактора при создании и исследовании систем "Человек - Машина - Среда" встречает непонимание и часто полностью игнорируется, с вполне очевидными последствиями.

Распространено это в таких областях человеческой деятельности, как ведение открытых горных работ, проектирования машин для её осуществления и пр. При этом забывают, что биологические ритмы, с одной стороны, являются одним из важнейших механизмов приспособления человека к окружающей среде, а с другой - могут служить достаточно универсальным критерием оценки функционального состояния организма, его благополучия.

Заметим также, что "колебательная система часто имеет преимущества перед жесткой системой по стабильности, энергетике и скорости ответной реакции" [1, 4]. Есть также мнение, что "исследователей удивила бы живая неколеблущаяся система" [4], что - возможно - ставит жирный крест на мечте о полностью безлюдном ("неживом") карьере.

Таким образом, на наш взгляд, убедительно доказано, что прикладные исследования хронобиологического характера нужны и крайне востребованы в таких областях человеческой деятельности как в деле создания и эксплуатации машин для открытых горных работ. Тем более что они функционируют круглые сутки, в тяжелейших условиях окружающей среды, на протяжении всего года - много лет подряд.

Подчеркнем, что ритмы есть не только у людей и животных, но есть они и у машин, а тем более у машин, работающих под управлением людей. Изучая те или иные колебания в процессе эксплуатации горных машин, мы можем оценить состояние персонала - наметить путь управления основной системой на открытых горных работах - системой "Человек - Машина - Среда" (возможен и обратный путь, но он сложнее, т.к. требует большего объема исходных данных).

Некоторые старые и полезные данные. В книге [6] сказано, что многократными наблюдениями отмечено, что надежность человека-оператора в ряде случаев временно снижается по совершенно необъяснимым причинам. Специалисты полагают, что временное снижение надежности человека может быть связано с его жизненными биоритмами [7]. Существует гипотеза, согласно которой жизнь каждого человека, начиная с рождения, протекает в соответствии с тремя циклами: физическим, содержащим 23 дня, эмоциональным (циклом чувствительности), длящимся 28 дней, и интеллектуальным длящимся 33 дня. Каждый цикл разделяется на два равных периода, из которых 1-ый период считается положительным, а 2-ой отрицательным. Первые 11,5 дней физического цикла человек хорошо справляется с работой, требующей физических сил (положительный период), а в оставшиеся 11,5 дней этого цикла - он чувствует снижение тонуса и выносливости (отрицательный период). Первые 14 дней эмоционального цикла человек оптимистичен, бодр, хорошо настроен; в течение остальных 14 дней он пессимистичен, раздражителен. На первом, положительном этапе интеллектуального цикла (16,5 дней) человеку легко даются любые интеллектуальные занятия, а в течение второго, отрицательного этапа, для этого человеку требуются усилия.

В первый критический день физического цикла с людьми чаще происходят несчастные случаи. Касается это и первого критического дня эмоционального цикла - чаще бывают эмоциональные срывы. Первый критический день интеллектуального цикла не считают опасным, но он усиливает негатив, если совпадает с иными критическими днями.

На рисунке 1 [6] приводятся указанные выше циклы для человека 40 полных лет (дата рождения - 9 июня 1933 года).

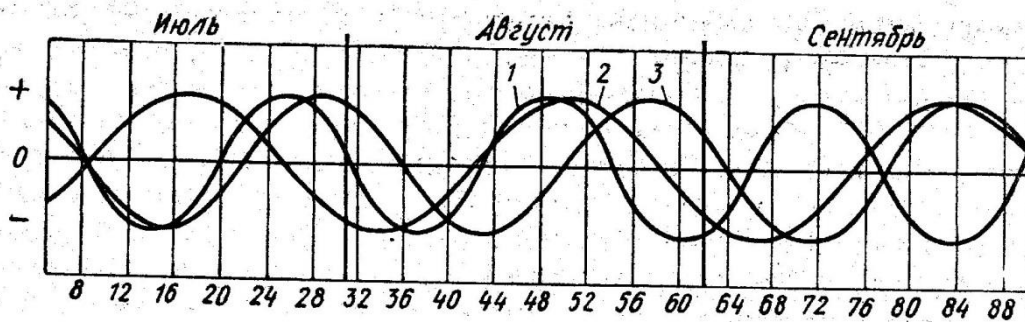


Рис. 1 График биоритмических циклов:
1 - физический; 2 - интеллектуальный; 3 - эмоциональный

Основные идеи. Биоритмологический профиль. Давно известно, что некоторые индивидуумы обладают большей работоспособностью, лучшим самочувствием и высоким эмоциональным тонусом в утренние часы, а другие - в вечерние часы, что весьма важно для организации эффективной трудовой деятельности.

Эти особенности циркадианной ритмики отличаются относительным постоянством и устойчивостью, поэтому исследование и контроль даже отдельных функций, например, температуры тела, частоты сердечных сокращений, артериального давления, показателей естественного иммунитета - позволяет улучшить здоровье персонала и снизить аварийность, а также вести в перспективе речь и о росте производительности, и эффективности трудовой деятельности. Это надо учитывать работодателю при приеме на работу новых сотрудников.

Обычно максимальная работоспособность достигается в состоянии напряженного бодрствования. А оно достаточно затратно для организма и потому коротко и дефицитно. Организм вынужден снижать уровень своего бодрствования, демонстрируя при этом колебания работоспособности в течение суток. Для большинства людей эти колебания стереотипны и составляют суть понятия "биоритмологического профиля". Такого рода профиль должен быть введен в практику отечественного горного производства как при приеме на работу, так и при управлении уже имеющимся персоналом (каждый сотрудник должен иметь в своем профиле графики своих основных циркадных ритмов, которые должны учитываться и контролироваться с должной частотой и тщанием).

При создании указанного профиля могут быть использованы давно известные опросники [1, 4, 8, 9 и др.]. Их полезно дополнить средствами

автоматического сбора и обработки индивидуальных данных в реальном времени.

Кроме утренней и вечерней группы существует промежуточная - аритмичная группа, что обязательно нужно учитывать, в частности, при выборе числа и времени рабочих смен. Также важно не забывать, что у достаточно значительного числа людей при смене места жительства биоритмы нарушаясь не восстанавливаются, и поэтому, таких граждан нельзя брать на ту работу, где это может быть критично.

К вопросу повышения эффективности единичного работника. В 1977 году С.И. Степанова [8] выдвинула гипотезу о постоянстве "информационно-энергетической стоимости" суточного цикла организма. Согласно этой гипотезе [1, 9] количество ежедневно расходуемой организмом энергии и перерабатываемой информации в среднем представляет относительно постоянную величину, которая, в обычных условиях жизнедеятельности во многом определяет характер фазовых соотношений между циркадианными ритмами функций организма.

Можно ввести в оборот понятие энергетической стоимости суточного цикла организма. Современные инструменты медицины и биологии позволяют, с достаточной для практики точностью, определить численное значение этого параметра (или его допустимый диапазон существования) для каждого сотрудника. Такой параметр может использоваться при управлении персоналом. На основании чего может быть сформулирована формальная оптимизационная однокритериальная задача.

В итоге весьма желательно добиться синхронизации циркадианных ритмов умственной работоспособности и вегетативных функций, при оптимальных индивидуальных затратах энергии.

Заключение. В настоящей работе выявлена важная проблема горного машиностроения, имеющая и научное, и практическое значение - полное отсутствие биоритмологических и адаптационных исследований, недостаточность и неполнота биологических, и психологических исследований. Почти отсутствуют также работы, в которых горные машины рассматриваются как элементы системы "Человек - Машина - Среда". Снятие такой проблемы требует многолетних усилий сотен специалистов разного профиля, что требует создания соответствующей инженерной, производственной и научной инфраструктуры.

Одним из первых шагов на пути снятия хотя бы части вопросов в рамках сформулированной выше глобальной проблемы является разработка и внедрение в практику эксплуатации горных предприятий биоритмологического профиля для каждого сотрудника, что потребует существенных изменений в медицинском блоке горного предприятия. Предложить проведение постоянного мониторинга состояния работников с автоматическим анализом всех собираемых данных и их хранением. На основании такого рода профилей могут быть сформированы рациональные коллективы, обладающие максимальной эффективностью. Естественно, что параллель-

но необходимо исследовать ритмы и колебания в самих горных машинах и в их цепочках при значительной опоре на понятие системы "Человек - Машина - Среда".

Список литературы

1. Доскин В.А., Куинджи Н.Н. Биологические ритмы растущего организма. М.: Медицина, 1989. 224 с.
2. Саркисов Д.С., Пальцын А.А., Втюрин Б.В. Приспособительная перестройка биоритмов (электронно-авторадиографическое исследование). М.: Медицина, 1975. 184 с.
3. Степанова С.И. Биоритмологические аспекты проблемы адаптации. М.: Наука, 1986. 244 с.
4. Хиросэ Ш. Бионические роботы: змееподобные мобильные роботы и манипуляторы. М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2014. 272 с.
5. Борисов В.И. Общая методология конструирования машин. М.: Машиностроение, 1978. 120 с.
6. Леонтьев А.Н. и др. Инженерная психология. М.: Изд-во МГУ, 1970. 396 с.
7. Оранский И.Е. Природные лечебные факторы и биологические ритмы. М.: Медицина, 1988. 288 с.
8. Степанова С.И. Актуальные проблемы космической биоритмологии. М.: Наука, 1977. 311 с.
9. Биологические ритмы / Под. ред. Ю. Ашоффа. В 2 т. М.: Мир, 1984. Т. 1 - 412 с. Т. 2 - 262 с.
10. Pobegailo P.A., Ilyina A.N., Kritckij D.Y. On the issue of improving the reliability of machines for open pit mining operations with expiring or expired standard exploitation period // [IOP CONFERENCE SERIES: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING](#), 5. Series "V International Scientific Conference "Survivability and Structural Material Science", SSMS 2020" Volume 1023. [IOP Publishing Ltd](#), 2021. 6 pp. DOI: [10.1088/1757-899X/1023/1/012021](https://doi.org/10.1088/1757-899X/1023/1/012021)
11. Побегайло П.А., Лагунова Ю.А., Ковязин Р.А., Калянов А.Е. Некоторые предварительные итоги экспериментальных исследований работы человека оператора одноковшового экскаватора // «Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности»: XIV Международная научно-техническая конференция. Чтения памяти В.Р. Кубачека. / УГГУ. Екатеринбург. с. 108 – 118, 2016.

УДК 621.879

ПРОДЛЕНИЕ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ: ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

П.А. Побегайло¹, к.т.н.; Д.Ю. Крицкий², инж.; А.Н. Ильина³, доц., к.физ.-мат.н.

¹ - Независимый исследователь, Москва; ² - АО "СУЭК-КРАСНОЯРСК", Красноярск,

³ - МАИ (НИУ), Москва, РФ

Представлены текущие итоги работы по созданию системы экспресс - диагностики карьерных экскаваторов. Система должна обеспечить рациональную эксплуатацию карьерных экскаваторов, когда у них истекает срок эксплуатации, указанный в заводской документации. Показаны основные результаты, достигнутые на сегодняшний день. Приведены некоторые методологические замечания по созданию схем, описывающих жизненный цикл карьерного экскаватора.

Ключевые слова: карьерные экскаваторы; система экспресс - диагностики; методология; подходы и технологии к продлению срока эксплуатации карьерных экскаваторов.

LIFE EXTENSION OF MINING EXCAVATORS: RESULTS AND PROSPECTS

P.A. Pobegailo, D.Y. Kritckij, [A.N. Ilyina](#)

The current results of the work on the creation of an express diagnostics system for mining excavators are presented. The system should ensure the rational operation of mining excavators when they expire, specified in the factory documentation. Shows the main results achieved to date. Some methodological remarks on the creation of diagrams describing the life cycle of a mining excavator are given.

Keywords: career excavators; express diagnostic system; methodology; approaches and technologies to extend the life of mining excavators.

Введение. Известно, что исследованию карьерных экскаваторов (КЭ) в условиях эксплуатации с целью повышения их надежности, и для изучения особенностей протекающих при этом процессов различной этиологии, посвящены сотни страниц многих десятков трудов на протяжении почти сотни лет. При этом, что удивительно, многие теоретические и практические вопросы все еще не нашли своего удачного разрешения.

К числу таких вопросов относится и важнейшая научная и практическая проблема разработки каркаса системы экспресс - диагностики КЭ, которая бы в режиме "24/7" способствовала нахождению экскаваторов в состоянии гомеостаза [1], занимая, по ряду вопросов, промежуточное положение между офисными приложениями и тяжелым САПР [2, 3 и др.].

Такая система позволила бы обоснованно подойти к снятию важной проблемы - продление сроков эксплуатации КЭ, за пределами паспортных характеристик, что особенно драматично тогда, когда нет уже ни завода, ни конструкторской документации в полном объеме.

Первичная схема и потребные при этом определения. Первичная схема представлена на рисунке 1, где показаны:

- *поле деятельности* - это искусственно выделенная область (среда) человеческой жизни, включающая в свой фундамент идеи М.М. Бахтина о диалоге - который является основой жизнедеятельности человека (в том

числе и внутренний диалог). Поле состоит из мембран (в самом общем случае мембраны не статичны, могут перемещаться и сталкиваться) и расположенных на них "атомов" - между ними имеются определенные связи. Критерием выделения этой области является интерес и понимание человеком процесса проектирования любой сложной технической системы;

- *деятель* - гносеолог - методолог;

- поле деятельности рассматривается как замкнутая система - однако она имеет *Вход и Выход* - через эти каналы она получает команду Старт - и выдает результат деятельности;

- *субъект* - это один человек или группа людей, занимающихся деятельностью. Однако в этом блоке, имеющем сложную внутреннюю структуру, в первую очередь, отражена организационная структура деятельности на уровне разработчика, либо эксплуатанта;

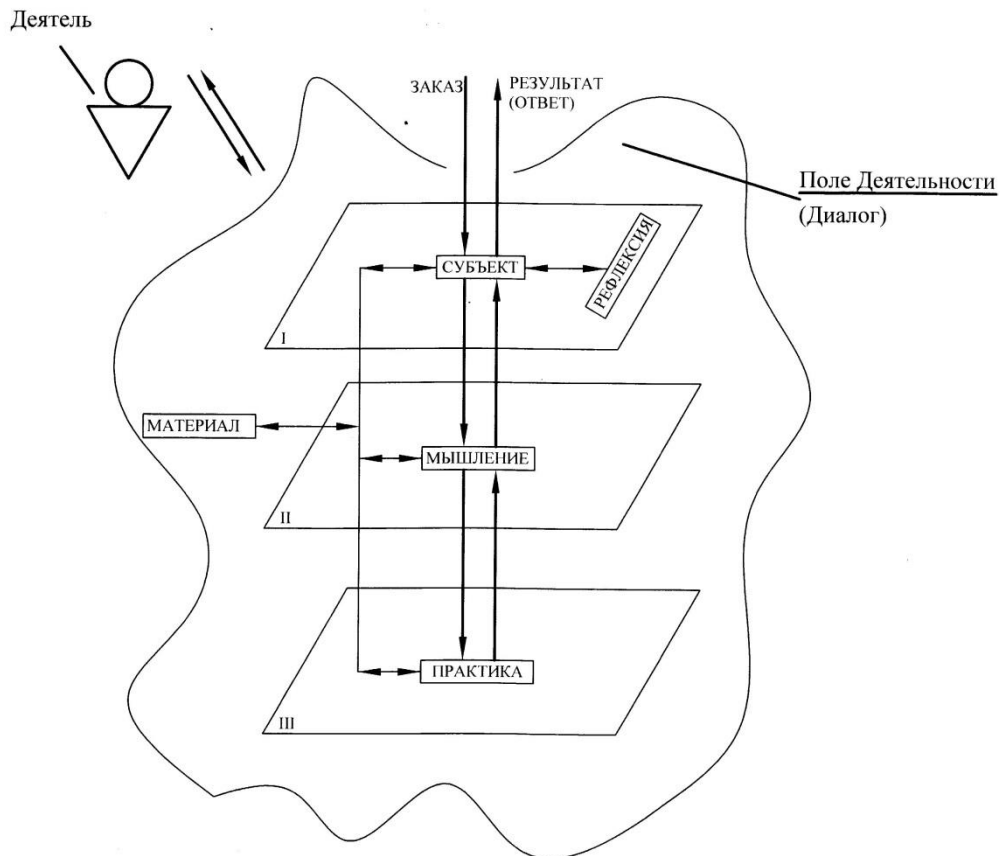


Рис. 1 Первичная схема № 1

- *рефлексия* - возможность тех или иных внутренних диалогов - как внутри головы одного разума, так и между отдельными лицами;

- *материал* - вне мембранный блок, который может быть, а может и не быть в частном случае. Он содержит в себе проекцию культуры - материалы и инструменты, подходящие и нужные для конкретной деятельности - по сему этот блок может дополняться разработками внутри как этого поля, так и извне;

- *мышление* - собственно мембрана деятельности, в первую очередь в головах людей, в памяти компьютеров и-или их сетей, на макетах и пр. Содержит необходимые методы, методики, модели - и технологии (схемы) работы с ними;

- *практика* – мембрана, отражающая реальность - процесс эксплуатации рассматриваемой системы во всех ее основных проявлениях (с учётом утилизации).

Кроме схемы, приведенной на рисунке 1, используем "троичные" схемы типа "Мышление - Теория - Практика", "Человек - Среда - Машина". Во всех таких схемах в общем случае имеется шесть связей; из-за их очевидности не будем приводить их графического изображения.

Основная схема. На базе схемы № 1 и ряда "троичных" схем разворачиваем основную схему - на рисунке 2 [3]. На этой схеме появляются блоки из четырех элементов, а также обязательные элементы управления. Такая схема охватывает весь жизненный цикл КЭ - от замысла и до момента утилизации.

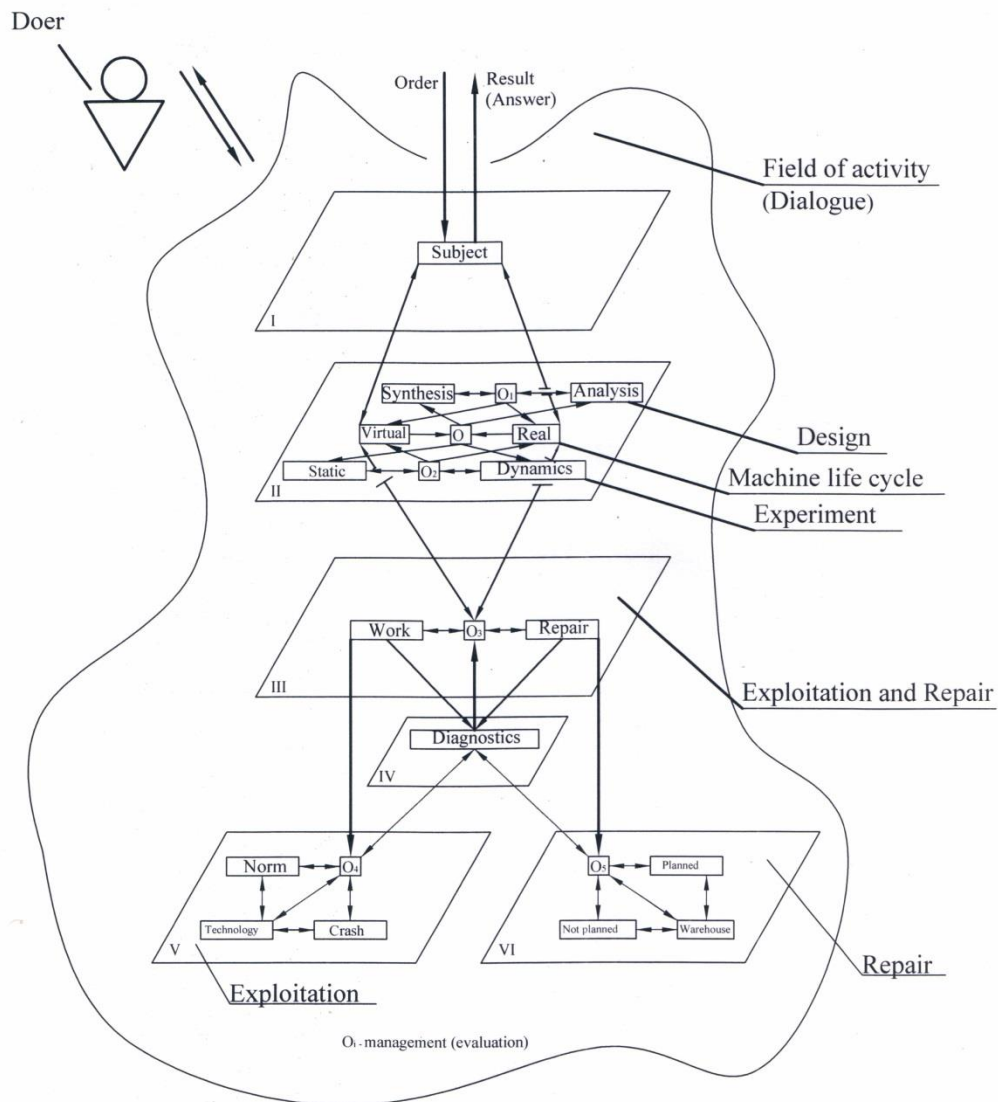


Рис. 2 Схема жизненного цикла КЭ

Каждая из мембран может быть подвергнута дальнейшей декомпозиции - касается это и отдельных блоков (атомов). Иногда при этом весьма удобны средства CASE-технологии, а иногда и UML, и пр., и т.п.

Появление виртуального блока на мембране II существенно образом расширяет и меняет наши представления и о жизненном цикле КЭ, и вообще - о формах его бытия и взаимодействия с миром идеальных идей (эйдосов) Платона.

К вопросу о наполнении каркаса системы экспресс - диагностики. В рамках разработки каркаса системы экспресс - диагностики КЭ были поставлены, рассмотрены и решены следующие задачи [2-10 и многие др.]:

- проанализированы как отказы, так и ремонты КЭ - как в советское время, так и сейчас (выявлен серьезный пул нерешенных проблем при эксплуатации техники с истекшим нормативным сроком службы в условиях отсутствия заводской поддержки);

- выявлена ритмичная структура распределения характеристик отказов элементов КЭ, хорошо описываемая средствами гармонического анализа, и тесно связанная с биоритмами человека;

- выявлены "слабые" места несущих металлоконструкций КЭ, которые требуют контроля в режиме "24/7";

- предложена классификация дефектов несущих металлоконструкций КЭ;

- улучшен подход к получению экспериментальных данных по реальным сварным швам рассматриваемых машин;

- в рамках создания и развития экспериментальной механики КЭ предложен подход к определению числа натуральных экспериментов;

- предложен инженерный подход к оценке теоретического коэффициента концентрации напряжений (ТКК) в сварном шве;

- поставлена задача о применении сценарного подхода (на базе теории графов) к оценке состояния стрел экскаваторов-драглайнов;

- проанализированы существующие методы неразрушающего контроля и выбран комплексный подход для контроля состояния надстроек и стрел экскаваторов-драглайнов при главенствующей роли акустико-эмиссионного подхода;

- выведено уравнение движения системы "тяговая лебедка - ковш" экскаватора-драглайна удобное для применения в рамках системы экспресс - диагностики;

- осуществлена смычка исследований ТКК с оценкой состояния металла несущих металлоконструкций экскаваторов драглайнов;

- проведен анализ проблемы налипания грунта к ковшу;

- развит подход к оценке скорости износа зубьев ковшей;

- предложен подход к оценке удельных давлений под гусеницами гидравлического экскаватора с учетом усилия на зубьях ковша;

- предложена методика оценки энергопотребления при экскавации механической лопатой;

- построено несколько физических моделей, описывающих динамику карьерных экскаваторов с разными видами привода;
- поставлено и осуществлено полномасштабное исследование максимальных статических нагрузок у гидравлических экскаваторов;
- исследован механизм привода ковша экскаваторов типа ЭГ.

Всё это формирует первый вариант структуры системы экспресс - диагностики КЭ, построенный вокруг понятия гомеостаза экскаватора.

Заключение. Максимально кратко представлены основные результаты, полученные при разработке каркаса системы экспресс - диагностики карьерных экскаваторов, составляющие её абрис.

Список литературы

1. Новосельцев В.Н. Теория управления и биосистемы. Анализ сохранительных свойств. М.: Наука, 1978. 320 с.
2. Pobegailo P.A., Gadolina I.V. Reliability of Mining Machines and Development of the Express – Diagnostic System: State and Prospects // Journal of Graphic Era University, 2022, Vol. 10_1, pp. 12. doi: 10.13052/jgeu0975-1416.1011
3. Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения. Донецк: Изд-во ДонНТУ, 2009. 346 с.
4. Комиссаров А.П., Побегайло П.А., Шестаков В.С. Методика экспресс анализа энергопотребления при экскавации горных пород // ГИАБ, 2014, № 12, с. 138 - 141.
5. Побегайло П.А., Крицкий Д.Ю. Элементы системы экспресс диагностики состояния карьерных экскаваторов в условиях эксплуатации: блок оценки концентраторов напряжений в металлоконструкциях со стыковыми швами // ГИАБ. 2018. S.50. с. 216—229. DOI: [10.25018/0236-1493-2018-12-50-216-229](https://doi.org/10.25018/0236-1493-2018-12-50-216-229)
6. Обоснование выбора точек контроля металлоконструкций экскаваторов драглайнов / Побегайло П.А., Крицкий Д.Ю., Мутыгуллин А.В., Шигин А.О. // Уголь. 2018. №.6. с. 48—53. DOI: [10.18796/0041-5790-2018-6-48-52](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2018-6-48-52)
7. Комплексный подход к безопасной эксплуатации элементов металлоконструкций карьерных экскаваторов / Крицкий Д.Ю., Шигин А.О., Бовин К.А., Побегайло П.А. // ГИАБ. 2017. S.32. с. 307—319. DOI: [10.25018/0236-1493-2017-12-38-307-319](https://doi.org/10.25018/0236-1493-2017-12-38-307-319)
8. Kritskij D.Yu., Tyurin, S.I., Kovaleva, A.A., Gil'Manshina, T.R. Manganese steel structure effect on the performance characteristics of large-size cast product parts. // Ugol - 2018. - № 7. - с. 9-12.
9. Побегайло П.А. Мощные одноковшовые гидравлические экскаваторы: методология проектирования рабочего оборудования (на ранних стадиях проектирования). М.: СВР-АРГУС, 2017. 210 с.
10. Проектирование карьерных экскаваторов [Текст] / А.П. Комиссаров, Ю.А. Лагунова, В.С. Шестаков. - Москва: Инновационное машиностроение, 2017. - 230 с

УДК 622.23.05

АНАЛИЗ ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОЙ ВЫЕМКИ ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ

И.В. Соловьев, А.В. Михайлов

Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, РФ

Проводится анализ выбора оборудования для осуществления выемки торфяного сырья селективным методом. Метод, как реализация карьерного способа добычи сырья, основан на принципах рационального природопользования с учетом принципов устойчивого развития. Для осуществления выемки рационально использовать технологический модуль, состоящий из тягового устройства, транспортного средства и гидроманипулятора с подвешенным рабочим органом. В качестве рабочего органа возможно использовать двухчелюстной гидравлический вилчатый грейфер.

Ключевые слова: торфяное сырье, технологический модуль, волокнистая среда, вилчатый грейфер, селективная выемка

ANALYSIS OF EQUIPMENT SELECTION FOR SELECTIVE EXTRACTION OF PEAT RAW MATERIALS

I.V. Soloviev, A.V. Mikhailov

Annotation. In this paper, the analysis of the choice of equipment for the excavation of peat raw materials by a selective method is carried out. This method, as the implementation of a quarry method of extraction of raw materials, is based on the principles of rational nature management, taking into account the principles of sustainable development. To carry out the excavation, it is rational to use a technological module consisting of a traction device, a vehicle and a hydraulic manipulator with a suspended working body. As a working body, it is possible to use a double-jawed hydraulic fork grab.

Keywords: peat raw materials, technological module, fibrous medium, fork grab, selective excavation

Введение. Волокнистое торфяное сырье малой степени применяется в ряде отраслей промышленности благодаря своим физико-механическим и химическим свойствам.

Актуальной является задача разработки экономически эффективных способов (методов) добычи данного вида полезного ископаемого с учетом современных принципов рационального природопользования и устойчивого развития, поскольку торфяные месторождения играют существенную роль в поддержании устойчивого благоприятного состояния биосферы.

Как известно, применение традиционных методов разработки торфяных месторождений требует подготовку производственных площадей: сводку леса, осушение территорий, удаление растительности и др. Данные мероприятия оказывают крайне негативное воздействие на разрабатываемые территории с экологической точки зрения. Более того, их проведение требует высокого уровня капиталовложений из-за необходимости использования специализированной техники.

Выемка сырья селективным методом является технологией добычи торфяного сырья малой степени разложения, которая может реализовываться без подготовки производственных площадей. Этот метод относится к карьерному способу добычи сырья, при котором выемка осуществляется

из поверхностного слоя залежи на глубину до полуметра (деятельный слой залежи – акротелм). Выемка производится лагунным методом с образованием берм-перекрытий между ними, благодаря которым сохраняется гидрологический режим, приближенный к естественному в области нарушения и возникают условия к более интенсивному восстановлению растительности после выемки [1].

Актуальной задачей является механизация технологии с рациональным выбором комплекта горного оборудования для реализации технологии и создания нового оборудования с учетом особенностей условий эксплуатации.

Основная часть. Выбор комплекта оборудования должен основываться на оценке условий разрабатываемого месторождения. Анализ условий эксплуатации оборудования на торфяных месторождениях позволяют выявить основные требования к функциональности выбранного машинного парка.

В основном, в состав комплекта оборудования на торфяных предприятиях включают четыре группы машин: тракторы (тяговое устройство); торфяные машины, агрегируемые с тяговыми устройствами; универсальное выемочно-погрузочное оборудование (бульдозеры, фрезерные машины); торфяные машины с собственным приводом.

Разработка месторождения методом селективной выемки характерна малым торфодобывающим предприятиям с производительностью до 20 тыс. т. в год. Для реализации технологии используется минимальный комплект торфяных и универсально-выемочных машин 1, 2 и 3 групп для их совмещения в едином производственном цикле [2].

Исходя из принципов комплектования и агрегатирования горных машин для открытых горных работ, единицы оборудования целесообразно синтезировать в модули, имеющих технологические и конструктивные связи между собой. В состав технологического модуля для реализации метода селективной выемки следует включить: тяговое энергетическое устройство – трактор; транспортное средство – полуприцеп и кузов; гидроманипулятор с подвешенным рабочим органом – основное выемочно-погрузочное устройство.

Технологический модуль – оборудование циклического способа действия, для которого характерно объединение технологических операций в единый цикл, их строгая последовательность во времени и обособленность в пространстве.

Вертикальная выемка торфяного сырья может осуществляться с помощью разных типов рабочих органов: ковш, шнек, грейфер, фреза, ротор [3].

Торфяное сырье малой степени разложения обладает особыми структурными свойствами, благодаря которым оно получило широкое применение в ряде отраслей промышленности. Их нарушение в процессе добычи

ухудшает эксплуатационные свойства сырья. Возможно обозначить ряд критериев рационального выбора рабочего органа:

1. Исходя из технологии ведения добычных работ, функционал рабочего органа должен позволять применять его на сосредоточенных земляных работах с образованием неглубоких выемок (до 0,5 метра);

2. Универсальность. Из-за анизотропии свойств торфяной залежи рабочий орган должен обладать широким диапазоном эффективного применения.

3. Операции по выемке и разгрузке должны выполняться в едином технологическом цикле, рабочий орган должен обладать многофункциональностью.

4. Его функционал должен позволять осуществлять выемку с минимальным нарушением структурных характеристик сырья.

Грейферные механизмы позволяют осуществлять разработку грунтов независимо от их расположения относительно уровня стоянки оборудования. Их функциональность позволяет осуществлять выемку сырья из залежи и осуществлять выгрузку в кузов транспортного средства без нарушения структурных свойств внутри объема грейферного ковша. Более того, рабочий процесс загрузки-разгрузки проходит в коротком временном цикле.

Из классификации грейферных механизмов по устройству смыкания челюстей известны канатные и приводные грейферы. Канатные механизмы опускаются на разрабатываемую поверхность и внедряются под действием собственного веса. Приводные грейферы внедряются путем передачи усилия от исполнительного оборудования. Приводные грейферные механизмы обладают большей мобильностью: они способны осуществлять поворот вокруг своей оси благодаря установки ротатора в соединении с исполнительным оборудованием, что делает их наиболее рациональным вариантом при учете физико-механических и структурных свойств залежи.

Классификация грейферов может быть основана на количестве рабочих элементов и их форме. Из всего многообразия формы рабочих элементов грейфера и количества челюстей, широкое распространение при работе с волокнистыми средами получили двухчелюстные вильчатые грейферы.

Заключение. Для разработки торфяного месторождения селективным методом рационально использование технологического модуля, который состоит из тягового устройства, транспортного средства с кузовом и гидроманипулятора с двухчелюстным вильчатым грейфером. Грейферный ковш с вильчатыми рабочими элементами удовлетворяет основным требованиям к функциональности механизма, используемого для добычи торфяного сырья с малой степенью разложения.

Список литературы

1. Mikhailov A. Restoration of peatlands after selective white peat excavation. Book of Abstracts of the 14th International Peat Congress. Peatlands in Balance Stockholm, Sweden June 3-8. – 2012. – P. 448. DOI: 10.1017/CBO9781139059152.015.
2. Михайлов А. В., Иванов С.Л., Габов В.В. Формирование и эффективное использование машинного парка торфодобывающих компаний // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2015. – Т. 14. – № 14. – С. 82-91.
3. Якупов Д.Р., Иванов С.Л., Иванова П.В., Пермякова Е.К. К вопросу классификации способов добычи торфяного сырья и средств их реализации // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020 — № 10 (специальный выпуск 34). — С. 3–11. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-10-34-3-11.
4. Joosten, H., Clarke, D. Wise use of mires and peatlands: background and principles including a framework for decision-making. International Mire Conservation Group: International Peat Society, Saarijärven Offset Oy, Saarijärvi, Finland. – 2002. – P. 304.
5. Кремчеев, Э. А. Особенности структуры комплекса технологических операций при экскаваторной добыче торфа со стадийным обезвоживанием сырья // Записки Горного института. – 2018. – Т. 231. – С. 225-234. DOI: 10.25515/PMI.2018.3.225.
6. Соловьев И.В., Михайлов А.В. Особенности компоновки технологического модуля для добычи торфяного сырья малой степени разложения // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2022. – №16. – С. 103-109. – DOI: 10.26160/2658-3305-2022-16-103-109.
7. Грудинин Н. Н., Кремчеев Э.А. Применение тракторных агрегатов с активными прицепными модулями при внутримассивном транспорте торфяного сырья // Международный студенческий научный вестник. – 2017. – № 2. – С. 83.
8. Худякова И.Н., Резванова Э.А., Коконков А.А., Иванов С.Л. Формирование структуры основного технологического оборудования автономного комплекса для добычи торфа из неосушенного месторождения // Интернет-журнал Науковедение. – 2017. – Т. 9. – № 3. – С. 93.
9. Житенев, Б. Н. Исследование сорбционных свойств брикетированного торфа для очистки сточных вод от ионов кадмия, свинца и меди / Б. Н. Житенев, А. Д. Гуринович, Д. Д. Сенчук // Вестник МГСУ. – 2020. – Т. 15. – № 11. – С. 1534-1545. – DOI 10.22227/1997-0935.2020.11.1534-1545.

УДК 621.879.323

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА МЕХАНИЗМА ШАГАНИЯ ЭКСКАВАТОРА-ДРАГЛАЙНА

Н.М. Суслов, д.т.н., проф., С.А. Чернухин, к.т.н.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ

Изложена особенность работы гидравлической системы механизма шагания на примере экскаватора-драглайна ЭШ-15/90А. Представлена последовательность вовлечения элементов гидросистемы в работу на каждом этапе осуществления шага. Данный материал является подготовительным этапом для последующей работы по совершенствованию гидравлической схемы механизма шагания, с целью повышения энергоэффективности процесса перемещения экскаватора.

Ключевые слова. *Гидропривод, экскаватор-драглайн, механизм шагания, открытые горные работы, гидравлическая схема, ЭШ-15/90А, перемещение, машиностроение.*

FEATURES OF THE HYDRAULIC DRIVE OF THE WALKING MECHANISM OF THE DRAGLINE EXCAVATOR

N.M. Suslov, S.A. Chernukhin

The article examines the peculiarity of the hydraulic system of the walking mechanism of the dragline excavator. The sequence of involvement of the links of the hydraulic system in the work at each stage of the step is presented. This material is a preparatory stage for further work on improving the hydraulic scheme of the walking mechanism, in order to increase the energy efficiency of the excavator movement process.

Keywords: *hydraulic drive, dragline excavator, stepping mechanism, open-pit mining, hydraulic circuit, displacement, mechanical engineering.*

Экскаватор-драглайн ЭШ-15/90А с трехгранной стрелой является модификацией шагающего экскаватора-драглайна ЭШ-15/90, разработан для ведения землеройных работ в горнорудном и строительном производстве. Данный экскаватор оснащается трехопорным механизмом шагания с гидравлическим приводом, предназначенным для передвижения машины. Механизм шагания, представленный на рисунке 1, состоит из опорной базы 1, двух шарнирно-укрепленных на противоположных сторонах поворотной рамы 2 подъемных цилиндров 3, двух вспомогательных цилиндров 4, двух опорных башмаков 5, шарнирно подвешенных к цилиндрам, и привода гидроцилиндров, включающего в себя гидравлическую систему [1, 2]. Процесс шагания состоит из нескольких циклов: пуск насосов; перенос башмаков; подъем базы; рабочий ход; остановка шагания [3].

Гидравлическая схема механизма шагания (рис. 2) [4, 5] является сложной системой, где одновременно в работе задействованы гидравлические и электрические элементы. Для настройки и профессионального уровня обслуживания данной системы необходимо четко знать последовательность включений в работу тех или иных элементов [5].

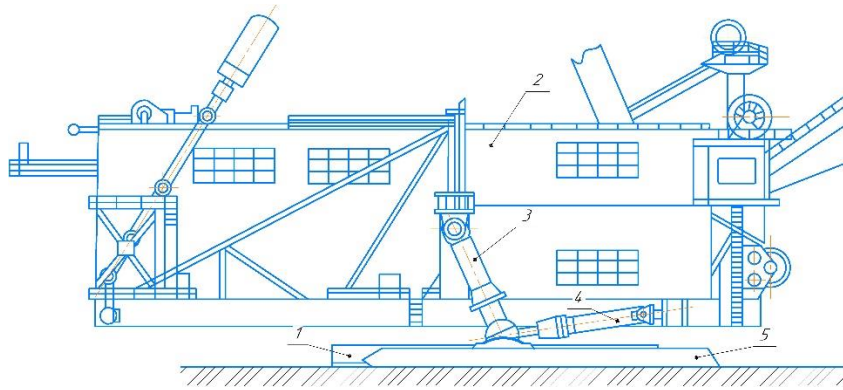


Рисунок 1 – Механизм шагания с гидравлическим приводом

Перед началом перемещения машины осуществляется пуск гидравлических насосов, до запуска основных насосов 4 и подкачных насосов 3 машинистом включаются насосы фильтрации 25, далее включаются подкачные насосы 3. Рабочая жидкость из баков 1 гидросистемы под давлением до 588,4 кПа поступает в камеру основного насоса 4 (НР 1250/200) и через клапанную систему насоса в напорную магистраль. Попадая в напорную магистраль, рабочая жидкость проходит обратный клапан 6 и все напорные магистрали будут находиться под давлением подкачных насосов. Через 10-12 секунд после запуска подкачных насосов 3 реле времени РВЦ разрешает производить включение насосов 4 одновременно включаются электромагниты Эм1, Эм6. Насосы и двигатели включаются без нагрузки. Выключается электромагнит Эм6 от реле времени через 10-12 секунд после пуска насосов 4. Реверсивный золотник 11 перестраивается, соединяя поршневую полость подъёмных цилиндров 14 со сливом. Поток жидкости из основной насосной установки 4 через предохранительный клапан 7 и обратный клапана с дросселями 19, направляется в нижние полости подъёмных цилиндров 14, а через переливной клапан 12 – в нижние полости вспомогательных цилиндров 15. При этом, поршни подъёмных 14 и тяговых 15 цилиндров подтягиваются вверх и освобождают засовы механических захватов. Одновременно жидкость поступает в штоковую полость гидроцилиндров механических захватов 18, засовы перемещаются и освобождают опорные башмаки для шагания. Переместившиеся засовы нажимают на конечные выключатели ВК13 и ВК14, которые подготовят цепь для включения электромагнита Эм3. Таким образом, механизм шагания не будет работать до тех пор, пока засовы механических захватов не будут втянуты.

Выброс опорных башмаков. После того, как срабатывают конечные выключатели ВК13 и ВК14, выключается электромагнит Эм3. Золотник перекидного клапана 12 передвинется, соединит верхние полости вспомогательных цилиндров 18 с магистралью давления, произойдет перемещение опорных башмаков, поршень вспомогательного цилиндра 18 упрется о крышку цилиндра. При этом, оси подъёмных цилиндров 14, а вместе с ним и конечные выключатели тяговых цилиндров поворачиваются на соответ-

ствующий угол, при котором электромагниты Эм1, Эм3 выключаются, а электромагниты Эм2 и Эм4 включаются. Реверсивный золотник 11 передвинется и соединит верхние полости подъемных цилиндров 14 с магистралью давления, при этом поршни подъемных цилиндров 14 с опорными башмаками будут опускаться вниз до тех пор, пока опорные башмаки не лягут на грунт. Золотник переливного клапана 12 переместится и отсечет верхние и нижние полости тяговых цилиндров 15 как от слива, так и от давления.

Подъем базы.

При дальнейшем поступлении жидкости в верхние полости подъемных цилиндров 14, давление в магистрали возрастает, и подъемные цилиндры приподнимут экскаватор. Перемещение поршней подъемных цилиндров 14 фиксируется конечными выключателями ВК1 и ВК2, которые отрегулированы так, что при подъеме экскаватора на максимальную высоту, они выключают электромагниты Эм2 и Эм4. Реверсивный золотник 11 займёт среднее положение, полости подъёмных цилиндров 14 будут отсечены как от магистрали давления, так и от слива. Переливной клапан 12 займет среднее положение, поршневые полости тяговых цилиндров 15 соединяются со сливом. Жидкость будет дросселироваться через тормозной клапан 20, что обеспечит плавную посадку экскаватора на грунт.

Рабочий ход. Под давлением жидкости, поступившей в нижние полости тяговых цилиндров 15, поршни будут втягиваться внутрь, экскаватор получит поступательное движение, и переместится на один шаг. После того, как шаг будет сделан, опорная база опустится на грунт. Давление в поршневых полостях подъемных цилиндров 14 упадет, реле давления ВК Д сработает и включится электромагнит Эм1 для следующего шага.

Остановка шагания. Остановку шагания следует начинать в конце шага, во время обратного хода при подъеме башмаков. Электромагнит Эм1 останется включенным и поршни подъемных цилиндров 14 втянутся полностью. В верхнем положении поршней подъемных цилиндров 14 сработают конечные выключатели ВК1, ВК2, но выброса не произойдет, т.к. электрическая цепь будет разомкнута. Верхние полости подъемных 14 и тяговых 15 цилиндров соединятся со сливом. Поршни цилиндров с опорными башмаками поднимутся вверх и займут положение экскавации. Верхнее положение поршней фиксируется конечными выключателями ВК5, ВК6 вспомогательных и подъемных цилиндров, которые дают импульс на включение электромагнита Эм5, золотник 13 поднимется вверх и соединит поршневые полости цилиндров захватов 18 с давлением.

В результате поршни цилиндров захватов 18 переместятся влево и подведут засовы под концы осей шарниров на башмаках [4]

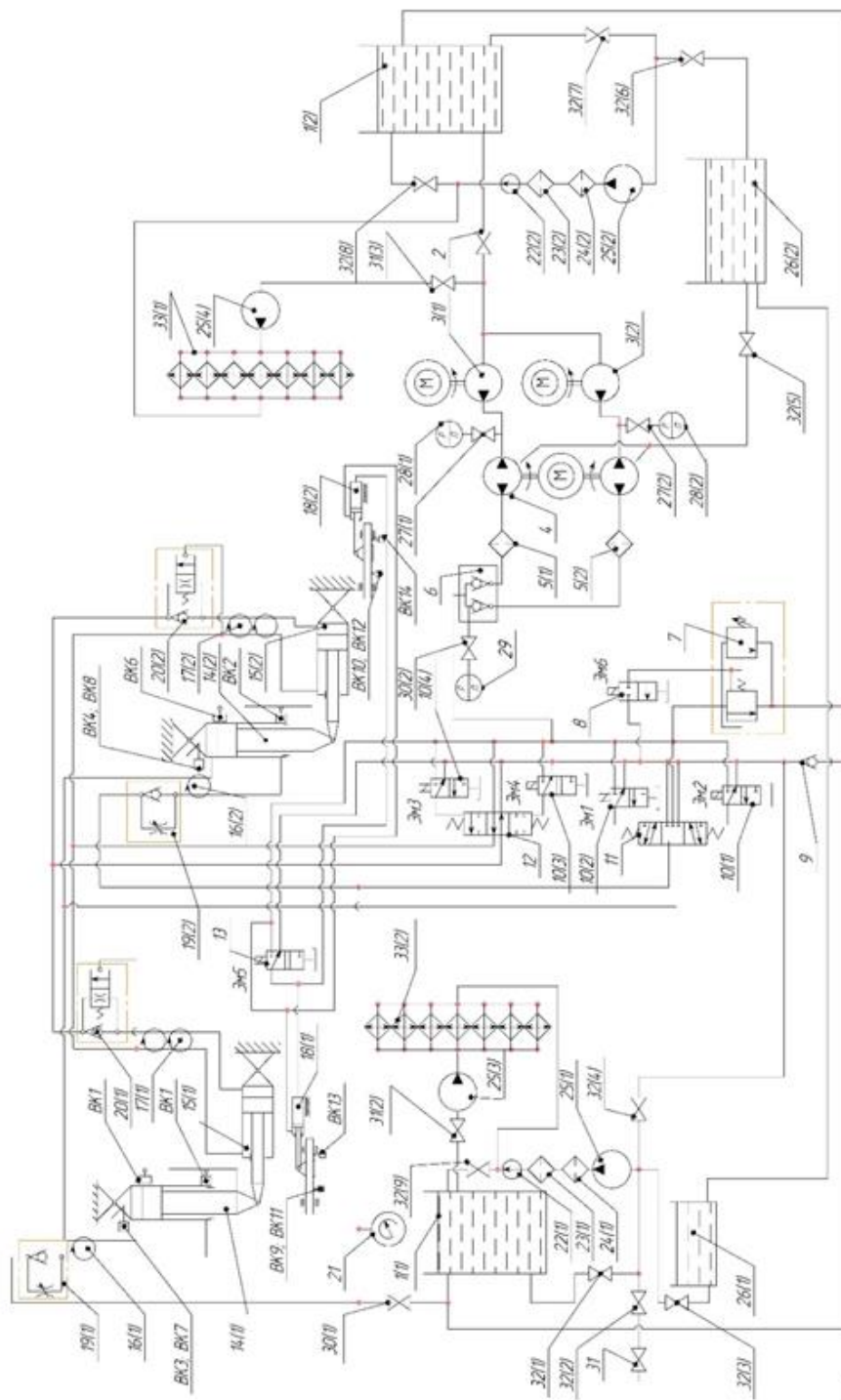


Рисунок 2 – Гидравлическая схема привода механизма шагания ЭШ15.90А
 1 – бак; 2 – вентиль; 3 – насос центробежный консольный, 4 – установка насосная с насосами
 HP 1250/200; 5 – улавливатель; 6 – блок обратных клапанов; 7 – клапан предохранительный; 8
 – золотник двухходовой двухпозиционный эл. магнитный; 9 – клапан обратный; 10 – золотник
 трехходовой двухпозиционный эл. магнитный; 11 – золотник реверсивный; 12 – золотник
 трехпозиционный переливной; 13 – золотник трехходовой двухпозиционный эл. магнитный; 14
 – цилиндр подъемный; 15 – цилиндр тяговый; 16 – гидрошарниры подъемного цилиндра; 17 –
 гидрошарниры вспомогательного цилиндра; 18 – цилиндр захватов; 19 – клапан обратный с
 дроселирующим устройством; 20 – клапан обратный с тормозным золотником; 21 – реле
 давления; 22 – указатель подачи; 23 – фильтр магнитный; 24 – фильтр; 25 – насос; 26 – бак
 утечек; 27 – кран натяжной муфтовый; 28, 29 – манометр; 30 – кран; 31, 32 – кран пробко-
 вый проходной сальниковый муфтовый; 33 – радиатор охлаждения

Список литературы

1. Подэрни, Юрьевич. Горные машины и комплексы для открытых работ: В 2 т. / Подэрни, Роман Юрьевич. - М. : МГГУ, 1999. Т.1. - 4-е изд. - 332 с.
2. Суслов, Н. М. Совершенствование шагающих механизмов, повышающее эффективность их использования / Н. М. Суслов, С. А. Чернухин // Известия Уральского государственного горного университета. – 2018. – № 3(51). – С. 108-113.
3. Суслов, Н. М. Эффективное использование гидропривода механизма шагания экскаватора-драглайна / Н. М. Суслов, С. А. Чернухин // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2021. – Т. 12, № 1. – С. 7-9.
4. Экскаватор ЭШ 15.90А с трехгранной стрелой. Механизм шагания. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Свердловск: УЗТМ, 1976. – 68с.
5. Коваль П.В. Гидравлика и гидропривод горных машин: учебник для вузов. М.: Машиностроение, 1979. 319 с.

УДК 622:271

АСПЕКТЫ СОВРЕМЕННОГО ПОНИМАНИЯ СУЩНОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ ГОРНОЙ ТЕХНИКИ

Т.А. Ткачева, доц., к.т.н.

Московский политехнический университет, г. Москва, РФ

В работе показано, что для современного понимания сущности изменчивости параметров надежности горной техники (ГТ) необходимо новое системно-аналитическое представление бесконечного многообразия факторов, точно определяющих текущее значение коэффициент готовности ГТ.

Ключевые слова: горная техника, коэффициент готовности, сущность изменчивости параметров, системно-аналитическое представление, бесконечное многообразие.

ASPECTS OF MODERN UNDERSTANDING OF THE ESSENCE OF VARIABILITY PARAMETERS OF RELIABILITY OF MINING EQUIPMENT

T.A. Tkacheva

The paper shows, that for a modern understanding of the essence of the variability of the parameters of the reliability of mining equipment (GT), necessary new system-analytical representation of an infinite variety of the factors, precisely defining the current value of the coefficient readiness GT.

Keywords: mining equipment, availability coefficient, the essence of parameter variability, system-analytical representation, infinite variety.

Задачи обеспечения технологической безопасности и надежности горной техники (ГТ) всегда актуальны, т.к. даже теоретическая их проработка неоднозначна и неочевидна. На месторождениях полезных ископаемых (МПИ), каждое из которых всегда уникально, обеспечивается надежность ГТ в т. ч. и важнейшими разработками прошлых лет и современными. Такими как:

- «привод для ходового механизма современных гусеничных экскаваторов с ковшем емкостью до 4 м³, который запатентован Кубачеком В.Р. и Сатовским Б.И.»;

- «программное управление процессом экскавации горных пород карьерным экскаватором, разработанное Лагуновой Ю.А., Комиссаровым А.П., Лукашук О.А., Шестаковым В.С.».

Известно, что на МПИ в соответствии с технологией используется различная номенклатура ГТ (экскаваторы, бульдозеры, автотранспортные средства (АТС) и т.д.) [1-3]. ГТ конструктивно различна, и это требует глубоких инженерных знаний (теоретических и практический), особых навыков и умений (а не компетенций) для обеспечения высокой надежности и безопасности при её эксплуатации в условиях неопределенности Природных и техногенных условий [1-5].

Линия:

«Качественная эксплуатация ГТ» ↔ «Качественный ремонт ГТ» (1)

Выражение (1) - важнейший аргумент в вопросе обеспечения надежности ГТ в любых условиях и в любой ситуации.

Вид экскаватора ЭКГ-10, работающего на одном из МПИ, с выделенными зонами исследований на нём представлен на рис.1.

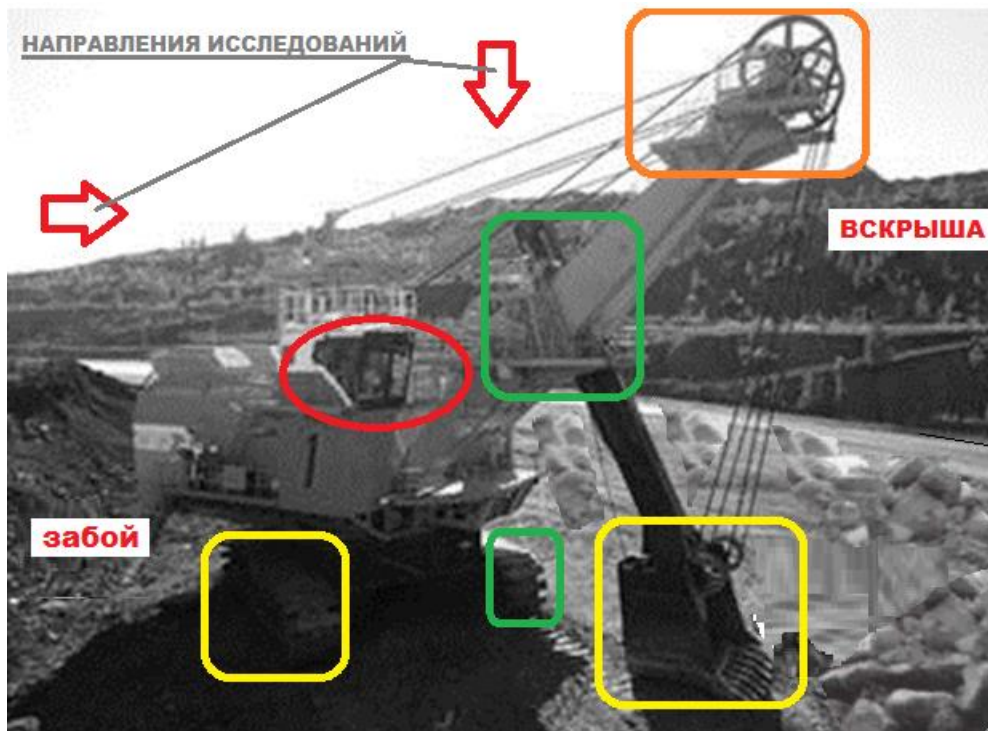


Рис.1. Зоны исследований экскаватора ЭКГ-10 на разных участках МПИ.

Во всех точках на экскаваторах, на вскрыше, забоях и перегрузке проводятся исследования, ведётся изучение закономерностей внешних и внутренних рабочих процессов на ГТ, с учётом постоянных, мало прогнозируемых изменений внешней среды. Заметим, что влияние их на надежность ГТ многогранно и многоаспектно. Всё сказанное формирует чёткие требования к ГТ [6-9] и они в горной науке определяются обобщённым режимным показателем, а, именно, коэффициентом готовности ГТ

$$K_{ГТi j} = \left\| (Tr_{ГТi j}) / (Tr_{ГТi j} + Tv_{ГТi j}) \right\|, \quad (2)$$

где $K_{ГТi j}$, $Tr_{ГТi j}$ и $Tv_{ГТi j}$ – текущий коэффициент готовности, периоды времени: рабочего и восстановления i -го вида эксплуатируемой ГТ (экскаваторов, бульдозеров, автотранспортных средства (АТС) и т.д.) в некотором j -м технологическом пространстве МПИ (рис. 1).

При интенсивной эксплуатации экскаваторов изменяются внутренние и внешние процессы в деталях, узлах, частях ГТ [4]. А для некоторой совокупности ГТ можно записать

$$K_{ГЭij} = \left\| (Tr_{Эij}) / (Tr_{Эij} + Tv_{Эij}) \right\|, \quad (3)$$

$$K_{ГТij} = \left\| \frac{(Tr_{ГТij})}{(Tr_{ГТij} + Tв_{ГТij})} \right\|, \quad (4)$$

$$K_{АТСij} = \left\| \frac{(Tr_{АТСij})}{(Tr_{АТСij} + Tв_{АТСij})} \right\|, \quad (4)$$

где $K_{ГТij}$, $Tr_{ГТij}$ и $Tв_{ГТij}$ – текущий коэффициент готовности, периоды времени: рабочего и восстановления i -го вида эксплуатируемых: экскаваторов, бульдозеров, АТС в некотором j - м технологическом пространстве МПИ, соответственно.

Выводы:

1. Решение новых задач по обеспечению надежности ГТ актуально и требует разработки теории надежности на основе аналитической механики и обновлённого математического анализа.
2. Необходимы мега проекты отечественной ГТ.
3. Развивать подготовку инженеров широкого профиля для работы на МПИ.

Список литературы

1. Кубачек В.Р. Основы надежности горных машин / В.Р. Кубачек, Л.Г. Ку克林. – Свердловск: СГИ, 1982. – 78с.
2. Кубачек ВР. Сатовский Б.И. Патент SU76061A1 - 1948.
3. Комиссаров А.П. Программное управление процессом экскавации горных пород карьерным экскаватором / Комиссаров Лагунова Ю.А., Лукашук О.А., Шестаков В.С. // Горное оборудование и электромеханика. 2020 № 5 (151). С. 28-33.
- 4.Ткачева Т.А. Методология иерархических моделей процессно-прецизионной оценки качества при проектировании, изготовлении и эксплуатации горной техники (ГТ). СИСТЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА И УПРАВЛЕНИЯ ЭТАПАМИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОДУКТА (CAD/CAM/PDM-2018).Москва, 16–18 октября 2018 года, - С. 21.
- 5.Дроздова Л.Г., Курбатова О. А. Учеб. пособие. Владивосток: ДВГТУ, 2007 г. – 235 с.
6. ГОСТ ISO 6747-2018. Машины землеройные БУЛЬДОЗЕРЫ Термины, определения и технические характеристики для коммерческой документации (ISO 6747:2013, ЮТ)
7. ГОСТ 52280-2004. Автомобили грузовые. Общие технические требования.
8. .ГОСТ 30067-93. ЭКСКАВАТОРЫ ОДНОКОВШОВЫЕ УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ПОЛНОПОВОРОТНЫЕ . Общие технические условия.
9. ГОСТ 17257-87. Экскаваторы одноковшовые универсальные. Методы определения вместимости ковша.

УДК 622.6

О ПРИЧИНАХ РАЗРУШЕНИЯ ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ СОСУДОВ

Г.Д. Трифанов, д.т.н., профессор, В.Ю. Зверев, к.т.н., доцент,
Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Рассмотрены основные причины разрушения шахтных подъемных сосудов. Показано, что динамические нагрузки являются одной из основных причин их разрушения. Предложены мероприятия, обеспечивающие непрерывный контроль работы подъемных установок и принятие своевременных мер по устранению отклонений их режима работы.

Ключевые слова: Шахтные подъемные установки, динамические нагрузки, подъемные сосуды, системы непрерывного контроля.

ABOUT THE REASONS FOR THE DESTRUCTION OF MINE HOIST VESSELS

G.D. Trifanov, V.Yu. Zverev

The main reasons for the destruction of mine hoist vessels are considered. It is shown dynamic loads are one of the main causes of their destruction. Proposing measures are ensure continuous monitoring of hoist plants operation and the adoption of timely measures to eliminate deviations in their operating mode.

Keywords: Mine hoist plants, dynamic loads, hoist vessels, system of continuous monitoring.

Шахтные подъемные сосуды обеспечивают подъем полезного ископаемого, перемещение людей и материалов в шахтном стволе. Их исправность определяет безопасность работы людей и оборудования, бесперебойное функционирование угольной шахты или рудника.

В настоящее время в РФ наблюдается старение парка шахтных подъемных сосудов – при среднем назначенном сроке службы в 7 лет, можно встретить оборудование, изготовленное еще, например, до 2000 года.

В ходе эксплуатации основными критериями исправного состояния сосудов является отсутствие признаков предельного состояния металлоконструкций, которые приведены в методических указаниях по проведению экспертизы промышленной безопасности оборудования шахтных подъемных установок [1, 2]. Оборудование бракуется при наличии трещин в основном металле и сварных соединениях, сквозных отверстиях в обшивке и кожухе пружины парашютного устройства, деформации валиков подвесных и парашютных устройств. Тщательному контролю при обследовании подвергаются прогиб обшивки подъемного сосуда, зазор между направляющими скольжения и проводниками ствола, диаметр проушин подвесных и парашютных устройств, ход штока ловителя при напуске каната, усадка пружины парашютных устройств. Строго нормируется допустимое утонение рамы. Особое внимание уделяется состоянию несущих элементов в верхнем поясе подъемных сосудов, воспринимающем весь спектр нагрузок со стороны подъемных канатов при работе подъемной установки [6].

Наибольшего значения эти нагрузки достигают при загрузке и разгрузке скипов, разгоне и замедлении системы [5]. При системе управления подъемной машины с асинхронным приводом в ручном режиме возможно так же появление динамических нагрузок от периодического переключения контакторов в роторной цепи. Наибольшие динамические нагрузки подъемные канаты, подвесные устройства и подъемные сосуды испытывают при предохранительном торможении [4]. Повторно-переменные напряжения в раме скипов возникают при движении подъемного сосуда в шахтном стволе вследствие динамического взаимодействия с армировкой шахтного ствола [3]. Совокупность всех эксплуатационных нагрузок обуславливает механический износ подъемных сосудов и появление усталостных трещин.

Выполненный авторами анализ инцидентов, связанных с разрушением подъемных сосудов из-за усталости металлоконструкций, показывает, что большое влияние на нагружение оборудования оказал режим работы подъемной установки. В процессе подъема сосуды испытывают большие статические нагрузки от собственного веса и веса груза и динамические нагрузки, вызванные ускорением и рывками при движении подъемных сосудов в стволе, а так же их взаимодействием с армировкой ствола. Этот вывод сделан по результатам исследований динамических процессов при движении подъемных сосудов в шахтном стволе с помощью аппаратуры, АРМИР, измеряющей ускорения скипа в различных направлениях, систем измерительных «Силькан», контролирующей параметры работы привода подъемной машины, и расшифровки записей регистраторов параметров РПУ-03.х [3 – 5, 7].

При возникновении динамических напряжений в несущих элементах подъемных сосудов даже намного меньших по значению чем предел прочности металла, в них накапливаются микрповреждения, которые в дальнейшем вытекают в сквозные трещины вплоть до потери несущей способности конструкций. При таких условиях эксплуатации сохранение исправного технического состояния оборудования и надежная работа подъемной установки обеспечивается за счет обеспечения плавного подъема сосудов с минимальным перерегулированием скорости движения и исключением ударного взаимодействия с проводниками ствола.

Исключение инцидентов на шахтных подъемных установках, связанных с разрушением подъемных сосудов может быть достигнуто применением современных средств непрерывного контроля динамических процессов в шахтном стволе, например, аппаратно программного комплекса КАРСТ, который совместно с регистраторами параметрами подъемной установки позволяет своевременно выявить причины возникновения нежелательных процессов. Анализ результатов непрерывного контроля работы подъемных установок обеспечивает своевременное устранение отклонений в системе управления их приводом, позволяет спланировать и выполнить ремонт армировки ствола.

Режим работы подъемной установки предопределяет возникновение динамических нагрузок на подъемные сосуды. Факт возникновения и величину дополнительного воздействия можно оценить по результатам исследования динамики подъемной установки измерением ускорений подъемных сосудов при их движении. Результаты проводимых исследований показывают имеющиеся несовершенства наладки привода подъемной машины, а так же наличие дефектов проводников, влияющих на режим нагружения оборудования, на конкретных участках ствола. Наладка привода, а так же своевременный ремонт армировки, с учетом анализа динамики работы подъемной установки позволит сохранить исправное техническое состояние подъемных сосудов с большой наработкой.

Список литературы

1. Методические указания по проведению экспертных обследований шахтных подъемных установок (РД 03-422-01) / Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России». – М.: Научно-технический центр по безопасности в промышленности, 2001. – 172 с.
2. Методические указания по проведению экспертизы промышленной безопасности сосудов шахтных подъемных установок (РД-15-05-2006). (утв. приказом Ростехнадзора от 26.02.06 № 126). / Сост. Г.Д. Трифанов, В.Л. Беляк, Ю.Д. Фирстов, Е.В. Будалин, А.П. Никулин // Безопасность труда в промышленности. – 2006. – № 6. – С. 73–80.
3. Трифанов, Г.Д., Микрюков А.Ю. Непрерывный динамический контроль жесткой армировки вертикальных шахтных стволов // Горное оборудование и электромеханика. – 2013. – № 11. – С. 6–10.
4. Трифанов Г.Д., Стрелков М.А. Оценка влияния предохранительного торможения на состояние стального каната шахтной подъемной установки // Горное оборудование и электромеханика. - 2012. - № 11. - С. 26–32.
5. Трифанов Г. Д., Стрелков М. А., Зверев В. Ю. Способы минимизации динамических нагрузок в канатах шахтных подъемных установок // Горный журнал. 2015. № 8. С. 92–95.
6. Boroška J., Šaderov J., Rityk J. Dynamic forces and an actual load of a wire rope during its operation// ActaMontanisticaSlovaca. — 1996. — № 4. — P. 296–300.
7. Johansson B., Steinarson A. A new method for automatic reduction of catenary oscillations in drum hoist installations / Hoist & haul 2015: Proceedings of the international conference on hoisting and haulage. - 2015. - P. 125-140.

УДК 622.621

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ КОМПРЕССОРОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИХ В ПОДЗЕМНЫХ УСЛОВИЯХ ОАО «СЕВУРАЛБОКСИТРУДА»

А.В. Угольников¹, доц., В.В. Потапов¹, доц., А.А. Парамонова², асс.,

А.Е. Угольникова¹, асс., Р.В. Соколов¹, асс.

¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»¹

²ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет»²

С целью проверки возможности установки и использования в подземных условиях были проведены эксплуатационные испытания винтовых компрессоров 6VV-25/9 и 6VV-32/7 на шахте 14-14 бис, горизонт – 740 м ОАО «СУБР» в соответствии с программой и методикой, разработанной УГГУ и согласованной НАНИО «ЦС ГШО ИГД».

Ключевые слова: винтовые компрессора, барометрическое давление, температура, давление воздуха, бокситы

OPERATIONAL TESTS OF COMPRESSORS TO DETERMINE THE POSSIBILITY OF THEIR USE IN UNDERGROUND CONDITIONS OF JSC «SEVURALBOXITRUDA»

A.V. Ugolnikov, V.V. Potapov, A.A. Paramonova, A.E. Ugolnikova, R.V. Sokolov

The order to verify the possibility of installation and use in underground conditions, operational tests of screw compressors 6VV-25/9 and 6VV-32/7 were carried out at the mine 14-14 bis, horizon – 740 m of JSC "SUBR" in accordance with the program and methodology developed by UGSU and approved by NANIO "CS GSHO IGD".

Keywords: screw compressors, barometric pressure, temperature, air pressure, bauxite

Во время испытаний компрессоров замерялись следующие параметры: барометрическое давление, температура и давление воздуха и масла, концентрация масляной аэрозоли. Результаты замеров этих параметров приведены в табл. 1, 2. [1].

По окончании этих испытаний межведомственная комиссия в составе представителей завода-изготовителя ОАО «Казанькомпрессормаш», УГГУ, ОАО «СУБР», НАНИО «ЦС ГШО ИГД» и Госгортехнадзора России составила соответствующий акт, в котором рекомендовала винтовые компрессорные установки к эксплуатации в подземных условиях горно-рудной промышленности России. [2,3].

Рассмотрев результаты эксплуатационных испытаний винтовых компрессоров типа 6VV-32/7, НАНИО «ЦС ГШО ИГД» дал заключение:

1. Компрессоры винтовые воздушные типа 6VV-32/7 с воздушным охлаждением, изготавливаемые серийно ОАО «Казанькомпрессормаш» соответствуют требованиям «Единых правил безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом» (ПБ-06-111-95) и других нормативных документов по безопасности.

2. НАНИО «ЦС ГШО ИГД» считает возможным рекомендовать Уральскому управлению Госгортехнадзора России выдать разрешение на

проведение эксплуатационных испытаний компрессоров 6ВВ-32/7 в подземных условиях шахт «СУБРа». [4].

Таблица 1.

Журнал замеренных параметров компрессора 6ВВ-32/7, зав. № 01047

Дата	Барометрическое давление, мм.рт.ст	Давление, МПа			Температура, °С			Концентрация масляной аэрозоли в рабочей зоне компрессора, мг/м ³
		воздуха		масла	воздуха		мас-ла	
		нагнетание – перед обратным клапаном	давление сети	в коллекторе	перед компрессором	после компрессора	в коллекторе	
29.10.20	818	0,57	0,56	0,58	308	378	348	Не обнаружено
					15	85	55	
		0,57	0,56	0,58	308	378	348	
					15	85	55	
		0,57	0,56	0,58	308	378	348	
30.10.20	821	0,58	0,57	0,6	308	377	347	Не обнаружено
					15	84	54	
		0,58	0,57	0,6	308	377	347	
					15	84	54	
		0,58	0,57	0,6	308	377	347	
31.10.20	820	0,575	0,56	0,56	309	373	343	Не обнаружено
					16	80	50	
		0,575	0,56	0,56	309	373	343	
					16	80	50	
		0,575	0,56	0,56	309	373	343	
01.11.20	819	0,57	0,56	0,6	309	380	353	Не обнаружено
					16	87	60	
		0,57	0,56	0,6	309	380	353	
					16	87	60	
		0,57	0,56	0,6	309	380	353	
			16	87	60			

3. Компрессоры должны быть смонтированы в капитальной выработке с негорючей крепью.

4. Камера для размещения компрессоров должна быть оборудована вентиляторами местного проветривания. Включение вентилятора автоматически должно предшествовать включению компрессоров.

5. На период эксплуатационных испытаний необходим еженедельный контроль атмосферы в рабочей зоне компрессора вовремя его работы на наличие масляной аэрозоли. [5].

Рассмотрев материалы экспертизы промышленной безопасности и акт эксплуатационных испытаний винтовых компрессоров, Госгортех-

надзор России выдал разрешение на применение винтовых воздушных компрессоров 6ВВ-25/9 и 6ВВ-32/7 изготавливаемых ОАО «Казанькомпрессормаш» в подземных условиях шахт ОАО «СУБР», при этом камеры для размещения компрессоров должны быть оборудованы вентилятором местного проветривания, включение которого должно предшествовать включению компрессоров [5].

Таблица 2.

Журнал замеренных параметров компрессора 6ВВ-32/7, зав. № 01048

Дата	Барометрическое давление, мм.рт.ст	Давление, МПа			Температура, °С			Концентрация масляной аэрозоли в рабочей зоне компрессора, мг/м ³
		воздуха		масла	воздуха		масла	
		нагнетание – перед обратным клапаном	давление сети	в коллекторе	перед компрессором	после компрессора	в коллекторе	
29.10.20	818	0,58	0,57	0,6	308	378	348	Не обнаружено
					15	85	55	
		0,58	0,57	0,6	308	378	348	
					15	85	55	
		0,58	0,57	0,6	308	378	348	
30.10.20	821	0,57	0,56	0,6	308	378	348	Не обнаружено
					15	85	55	
		0,57	0,56	0,6	308	378	348	
					15	85	55	
		0,57	0,56	0,6	308	378	348	
31.10.20	820	0,57	0,56	0,61	309	380	353	Не обнаружено
					16	87	60	
		0,57	0,56	0,61	309	380	353	
					16	87	60	
		0,57	0,56	0,61	309	380	353	
01.11.20	819	0,58	0,57	0,61	309	380	353	Не обнаружено
					16	87	60	
		0,58	0,57	0,61	309	380	353	
					16	87	60	
		0,58	0,57	0,61	309	380	353	
			16	87	60			

В настоящее время внедрены и находятся в эксплуатации десять винтовых компрессоров 6ВВ-25/9 и 6ВВ-32/7 на шахтах «Красная шапочка» (2 шт.), «Черемуховская» (4 шт.) и «Кальинская» (4 шт.). Поскольку эти компрессоры установлены вблизи шахтных пневмоприемников, практически отсутствуют гидравлические и объемные потери энергии при

транспортировании сжатого воздуха, составляющие до 40 % при централизованном воздуходообеспечении. [1,3,5].

10. Проведены испытания компрессоров для определения возможности их использования в подземных условиях ОАО «Севералюбокситруд». В результате испытаний Госгортехнадзор России выдал разрешение на применение винтовых воздушных компрессоров 6ВВ-25/9 и 6ВВ-32/7 в подземных условиях ОАО «Севералюбокситруд».

Список литературы

1. Миняев Ю. Н., Угольников А. В. Энергетическое обследование и рекомендации по снижению потерь энергии в пневматических сетях промышленных предприятий // Всероссийская конференция – Энерго- и ресурсосбережение. Екатеринбург: УГТУ, 2003. С. 15-17.
2. Миняев Ю. Н., Дмитриев В. Т., Угольников А. В., Молодцов В. В. Децентрализация при снабжении пневматической энергией шахтных потребителей сжатого воздуха // Горный журнал, 2005. № 1 С. 79-80
3. Миняев Ю. Н., Угольников А. В. Энергосберегающие компрессорные технологии при эксплуатации пневмохозяйства промышленных предприятий // V всероссийское совещание-выставка по энергосбережению. Сборник материалов. 2004. С. 13-14.
4. Миняев Ю. Н., Зобнин Б. Б., Молодцов В. В., Копачев В. Ф., Угольников А. В. Реинжиниринг пневмохозяйства промышленных предприятий // VI всероссийское совещание-выставка по энергосбережению. Сборник материалов. 2005. С. 2-3.
5. Фролов П.П., Дмитриев В.Т., Миняев Ю.Н. Энергосбережение при производстве и транспортировании сжатого воздуха // Екатеринбург: Известия УГГГА, Серия горная механика, 2001. Вып. 12. С.48 - 54.

УДК 622.627

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫЕМОЧНЫХ И ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ МАШИН КОМБАЙНОВЫХ КОМПЛЕКСОВ КАЛИЙНЫХ РУДНИКОВ

Д.И. Шишлянников¹, д.т.н., профессор, Д.А. Лосев², аспирант,
К.А. Просовский², аспирант, А.О. Говорливых¹, студент, И.В. Зырянов¹, студент
¹ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (г. Пермь)
² АО «ВНИИ ГАЛУРГИИ» (г. Санкт-Петербург)

Приведены основные сведения о работе механизированных комбайновых комплексов калийных рудников. Указывается, что производительность проходческо-очистных комбайнов, работающих в составе комплекса, ограничивается производительностью шахтных самоходных вагонов. Обоснована актуальность разработки технологических схем, обеспечивающих эффективную работу механизированных комбайновых комплексов. Показано, что из-за увеличения плеча доставки, как следствие и времени ожидания самоходного вагона, производительность выемочных машин снижается по мере продвижения забоя очистной камеры. Предложен способ повышения производительности комплекса путем добавления второй транспортирующей машины при увеличении расстояния доставки в выработку. Предполагается, что второй вагон попадает в отработываемую камеру к работающему комбайну из соседней отработанной камеры через сбойку, в межкамерном целике. Использование предлагаемого технического решения позволяет увеличить время производительной работы комбайнов и повысить интенсивность разработки калийных пластов.

Ключевые слова: проходческо-очистной комбайн, шахтный самоходный вагон, эффективность использования оборудования, эксплуатационная производительность, добыча калийной руды, схемы работы комбайновых комплексов, очистная камера, сбойка.

ESTIMATION LOAD OF DRIVES OF THE «URAL-20R» MACHINES IN CONDITIONS OF DRILLING BY NOT FULL SECTION AREA OF OPERATING MEMBERS

D.I. Shishlyannikov, D.A. Losyev, K.A. Prosovskiy, A.O. Govorlivih, I.V. Ziryanov

Basic facts about mechanized equipment systems of potash mines are presented in the paper. It is noted that the process capacity of the combines, which works as a part of the equipment system, is limited by the capacity of the shuttle car. The necessity to develop new technical and technological measures designed to ensure the effective operation of the combines in the stope area of the potash mines is substantiated. It is shown that the capacity of mechanized equipment systems changes depending on the hauling distance. The capacity of heading-and-winning machines decreases as the face moves. A method to increase process capacity of the equipment system by adding the second shuttle car with the increase in the hauling distance in the extraction chamber is proposed. The second shuttle car enters the extraction chamber to the heading-and-winning machine from the neighboring mined-out chamber through a block-hole. Implementation of the proposed technical solution allows to increase the time of the efficient work of the heading-and-winning machines as part of the mechanized equipment systems and to increase the mining rate of the potash ores.

Keywords: heading-and-winning machine, shuttle car, equipment efficiency, process capacity, production of potash ore, operation diagram of the equipment system, extraction chamber, block-hole

На предприятиях России и стран СНГ, осуществляющих добычу калийных руд подземным способом, широко применяются механизированные комбайновые комплексы, в состав которых входят проходческо-

очистные комбайны, бункеры перегружатели и шахтные самоходные вагоны.

Опыт эксплуатации комбайновых комплексов показывает, что производительность добычных машин ограничена производительностью шахтных самоходных вагонов (ШСВ), что в разной степени проявляется на характерных участках выемки очистных камер (рисунок 1). Обеспечение эффективной работы проходческо-очистных комбайнов и ШСВ в очистных камерах калийных рудников является актуальной научно-технической задачей [1].

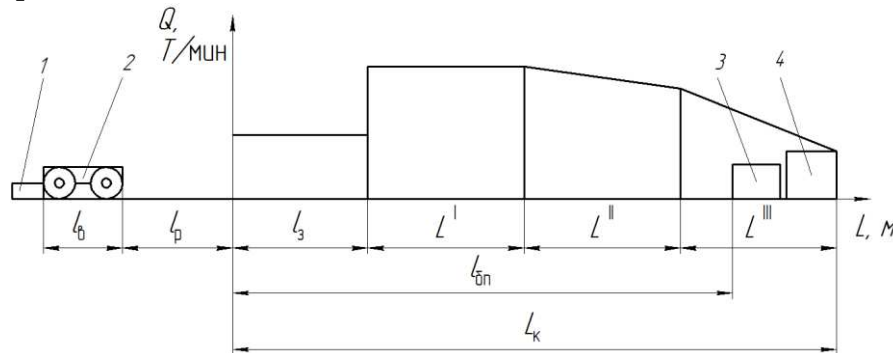


Рис. 1. Изменение производительности комбайнового комплекса по мере отработки камеры:

1 — рудоспуск; 2 — ШСВ; 3 — бункер-перегрузатель; 4 — комбайн

Всю длину проходки очистной камеры L_k (≈ 200 м [3]) можно поделить на участки: участок зарубки длиной $L_з$ и характерные участки L^I , L^II , L^III . Длина плеча доставки отбитой руды складывается из расстояния доставки от устья камеры l_p и расстояния от устья камеры до бункера перегружателя $l_{бп}$. На характерных участках режим работы проходческого комбайна различен. Работа комбайна на участке L^I непрерывна и осуществляется с максимальной производительностью. Руда накапливается в бункере-перегрузателе, откуда одновременно отгружается в ШСВ. На участке L^II комбайн работает с кратковременными остановками в период загрузки вагона, длительность которых возрастает. Пока вагон отсутствует бункер заполняется, период одновременной загрузки вагона и работы комбайна уменьшается. На участке L^III проходческий комбайн ожидает самоходный вагон и работает при его загрузке [2].

Известны технологические схемы работы, обеспечивающие повышенную производительность комбайнового комплекса за счет включения в него второго вагона [6]. В этих схемах вагоны располагаются либо последовательно, где отгрузка руды идет из вагона в вагон, на что тратится существенный объем времени, либо осуществляется их параллельная работа. Последнее возможно осуществить посредством увеличения ширины очистной камеры, что потребует модернизации существующих комбайнов, или выполнением ниши в целике, применение которой ограничено маневренностью самоходных вагонов.

Авторами предложен способ повышения производительности механизированного комбайнового комплекса с помощью транспортирования руды по уже пройденной очистной камере вторым самоходным вагоном [1]. Технологическая схема предлагаемого решения приведена на рисунке 2.

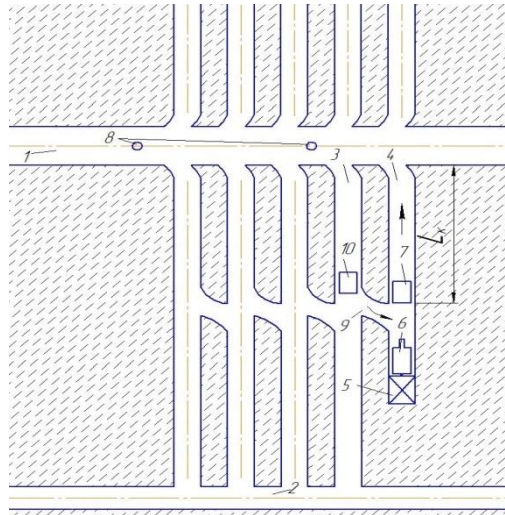


Рис. 2. Схема работы комбайнового комплекса с двумя ШСВ, с транспортированием части руды через соседнюю отработанную камеру

Суть предлагаемого решения состоит в выполнении сбойки из отработанной очистной камеры в обрабатываемую на расстоянии L_k – критической длине доставки руды от бункера до устья камеры (рис. 2). При достижении L_k к работе подключается второй самоходный вагон, транспортирующий руду через сбойку из соседней отработанной камеры.

Предлагаемое технологическое решение реализуется следующим образом. При подготовке панели или блока проходят выемочный 1 и вентиляционный 2 штрек (см. рис. 2). Очистные камеры 3 и 4 проходят перпендикулярно выемочному штреку 1. Отделение руды от массива осуществляется выемочным комбайном 5, который грузит отбитую руду в бункер-перегрузочник 6. Из бункера 6 руда грузится на самоходный вагон 7, который осуществляет доставку руды до рудоспускной скважины 8. Из отработанной камеры 3, в направлении обрабатываемой камеры 4, проходят сбойку 9 на расстоянии L_k от устья – расстоянии, равном длине доставки руды самоходным вагоном от забоя до устья очистной камеры, в пределах которого обеспечивается непрерывная работа проходческо-очистного комбайна. Сбойка 9 между камерами 3 и 4 обеспечивает возможность транспортирования руды от проходческо-очистного комбайна 5 и бункера-перегрузочника 6 вторым самоходным вагоном 10, через отработанную камеру 3 к рудоспускной скважине 8.

Проведение сбойки 9 может быть осуществлено, например, с использованием проходческого комбайна со стреловидным исполнительным органом и погрузочно-доставочной машины; материальные и временные затраты на проведение сбойки будут не значительны.

Применение предлагаемой технологической схемы позволяет увеличить время производительной работы проходческо-очистных комбайнов в составе механизированного комплекса и повысить интенсивность разработки калийных массивов. При работе двух самоходных вагонов на один комбайн техническая производительность добычной машины может быть повышена до 10–12 т/мин (в настоящее время – 6–8 т/мин), а годовая эксплуатационная производительность механизированного комплекса составит 3–3,5 млн. т в год.

Список литературы

1. Романов В. А. Повышение эффективности эксплуатации шахтных самоходных вагонов калийных рудников на основе данных комплексного контроля: Дис. ... канд. техн. наук. – Пермь: Перм. нац. исслед. политехнич. ун-т, 2020. – 176 с.
2. Лыхин П. А. Теоретические и практические основы циклической организации работ по добыче калийных руд [Текст]: моногр. / Горн. ин-т УрО РАН. – Пермь: Пресс-тайм, 2009. – 137 с.
3. Шишлянников Д. И., Романов В. А., Звонарев И. Е. Определение наработки и остаточного срока службы шахтных самоходных вагонов калийных рудников на основании данных приборного контроля // Записки горного института. – 2019. – Т. 237. – С. 508–512. DOI: 10.31897/rmi.2019.3.336.
4. Методическое руководство по ведению горных работ на рудниках ОАО «Сильвинит» / ОАО «Галургия». – Новосибирск: Наука, 2011. – 487 с.
5. Шендерович Ю. М., Ранько В. А. Зависимость производительности шахтных самоходных вагонов от скорости их движения // Механизация и автоматизация горных работ. – 1975. – С. 173-177.
6. Жабин А. Б., Поляков А. В., Аверин А. Е. Краткий анализ проблем и путей решения при обеспечении горнодобывающего предприятия современными техническими средствами ведения горных работ // Уголь. – 2018. – № 1 (1102). – С. 13–16. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-1-13-16.

УДК 622.276.53

**ЗАЩИТА ГАЗОСЕПАРАТОРОВ УСТАНОВОК
ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ
ОТ ГИДРОАБРАЗИВНОГО ПЕРЕРЕЗАНИЯ ПРИ ДОБЫЧЕ
ЖИДКОСТИ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ МЕХАНИЧЕСКИХ
ПРИМЕСЕЙ**

Д. И. Шишлянников¹, профессор, **В. К. Картавец¹**, студент,
А. С. Служаев², студент, **И. Е. Колупаев¹**, студент, **К. А. Лунев¹**

¹ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

²ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Рассмотрены особенности скважинной добычи нефти в условиях, осложненных высоким содержанием газа и механических примесей в добываемой пластовой жидкости. Указывается, что при использовании установок электроцентробежных насосов, оснащенных центробежными и вихревыми газосепараторами, велика вероятность перерезания корпусов газосепараторов вследствие интенсивного развития гидроабразивного износа, что приводит к разрушению установок и падению погружных двигателей с гидрозащитами в скважины. Устранение полётов погружного оборудования обуславливает необходимость длительных остановок нефтедобычи для проведения ремонтных работ. Описаны некоторые закономерности гидроабразивного износа, предложен способ предотвращения перерезания корпусов газосепараторов.

Ключевые слова: добыча нефти, газосепаратор, установка электроцентробежного насоса, гидроабразивный износ, защита от перерезания.

**PROTECTION OF GAS SEPARATORS OF ELECTRIC CENTRIFUGAL PUMP
INSTALLATIONS FROM HYDRO-ABRASIVE CUTTING IN CONDITIONS OF
HIGH CONCENTRATION MECHANICAL IMPURITIES IN WELL FLUID**

D.I. Shishlyannikov, V.K. Kartavtsev, A.S Sluzhaev, I.E. Kolupaev, K.A. Lunev

Features of well oil production in high inclusion of gas with high mechanical impurities concentration conditions were considered. Indicates that exploitation of electric centrifugal pump installations with centrifugal or vortex separators of gas is at risk of cutting of gas separator's body and falling of part electric centrifugal pump installations on bottom of well because intense hydro-abrasion wear. Liquidation of this emergency requires long timeouts oil production for repair work. Some regularities of hydro-abrasion wear were described. Method of protection from cutting body of gas separator is proposed.

Keywords: oil production, gas separator, electric centrifugal pump installation, hydro-abrasive wear, protection from cutting

В настоящее время более 80 % нефти на месторождениях России и стран Евразийского региона добывается с использованием установок электроцентробежных насосов (УЭЦН). Свыше 60 % нефтяных скважин оборудовано УЭЦН [3].

Среди наиболее распространённых факторов, осложняющих механизированную добычу нефти, существенное влияние на эффективность функционирования УЭЦН оказывают высокое содержание газа в пластовой жидкости и значительные концентрации частиц механических приме-

сей в перекачиваемой жидкости, вызывающих гидроабразивный износ погружного оборудования.

Известно, что гидроабразивный износ защитных гильз и корпусов газосепараторов УЭЦН развивается неравномерно [1]. Результаты многочисленных стендовых испытаний, приведенные в технической литературе, показывают, что основной причиной развития рассматриваемого износа является местная концентрация частиц твердых механических примесей между входными, напорными и сепарирующими ступенями газосепараторов [2]. То есть в местах изменения скорости и характера течения перекачиваемой жидкости внутри газосепаратора создаются условия для концентрации твердых частиц и локального развития износа.

Отечественными и зарубежными учеными разработаны модели абразивостойких газосепараторов, показывающих высокую эффективность работы. Однако конструктивная сложность и высокая цена таких изделий обуславливают их малое распространение на нефтедобывающих предприятиях. В то же время, процент аварийных отказов, связанных с полётами УЭЦН в скважины по причине перерезания газосепараторов увеличивается с каждым годом. Устранение таких отказов определяет длительные остановки скважин для проведения ловильных и ремонтных работ, что негативно сказывается на прибыли нефтедобывающего предприятия.

Авторами предложено и запатентовано техническое решение, позволяющее эффективно предотвращать возникновение полетов УЭЦН в скважины при интенсивном гидроабразивном износе газосепараторов серийных конструкций. Суть предлагаемого решения заключается в том, что теоретически или экспериментально выявляются зоны локализации гидроабразивного износа по длине защитной гильзы обследуемого газосепаратора (рис. 1.1).

В корпусе газосепаратора, напротив выявленных зон локального износа защитной гильзы, выполняются технологические отверстия.

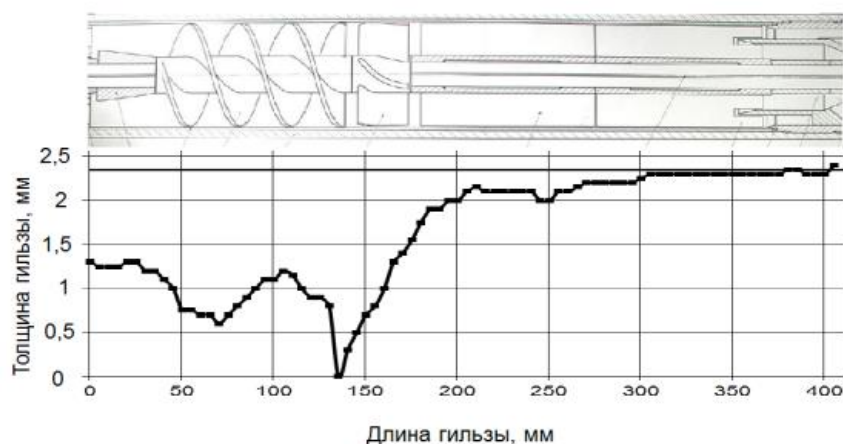


Рис. 1 – Результаты стендовых испытаний по определению зон локализации гидроабразивного износа газосепараторов УЭЦН при перекачке жидкости, содержащей частицы механических примесей [1]

При работе газосепаратора, после перерезания гильзы, внутренняя полость газосепаратора сообщается с затрубным пространством, в которое через указанные технологические отверстия в корпусе сбрасывается весь накопленный объем абразивных частиц, после чего происходит срыв подачи электроцентробежного насоса и остановка всей УЭЦН. Таким образом, предупреждается полное перерезание корпуса газосепаратора и последующий полет УЭЦН на забой скважины, в результате чего существенно сокращаются издержки добывающего предприятия на ремонт скважины, ловильные работы и замену уничтоженной части оборудования. После отказа УЭЦН по срыву подачи установка поднимается из скважины, а газосепаратор подвергается дефектации и ремонту.

Конструкция газосепаратора, соответствующая предложенному техническому решению, приведена на рис. 1.2.

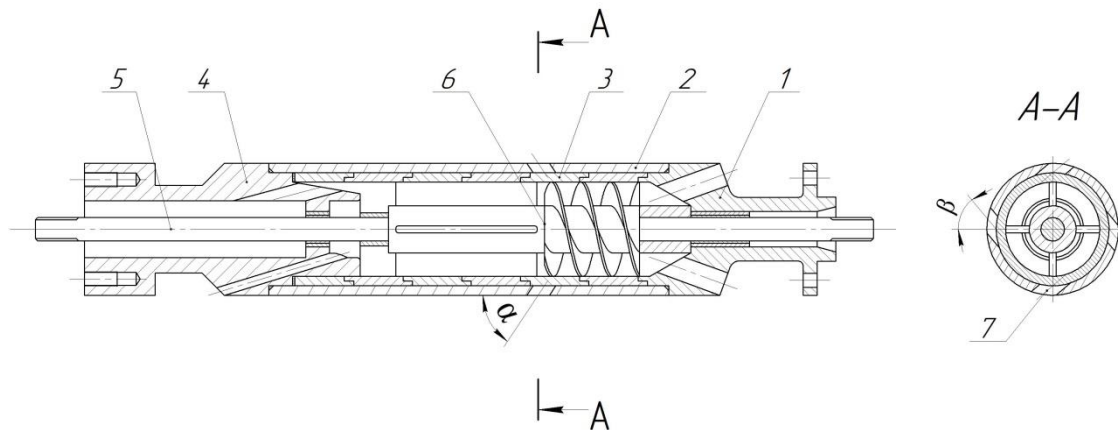


Рис. 2 – Газосепаратор УЭЦН с модернизированным корпусом

Представленный газосепаратор состоит из входного модуля 1, корпуса 2 с защитной гильзой 3, выходного модуля 4 и ротора, представляющего собой вал 5 с расположенными на нем рабочими органами 6. В корпусе 2, в выявленной зоне интенсивного гидроабразивного износа выполнены отверстия 7, оси которых могут быть расположены под углами α и β так, чтобы отверстия были сонаправлены с потоком перекачиваемой среды. Помимо этого, гильза 3 может быть выполнена составной. Те сегменты, которые находятся напротив отверстий и наиболее подвержены гидроабразивному износу, могут быть выполнены из более износостойкого материала, чем остальные сегменты защитной гильзы, что позволяет существенно увеличить период наработки на отказ без существенного удорожания газосепаратора. Выполнение защитной гильзы из отдельных сегментов упрощает ее производство и обеспечивает ремонтпригодность, что снижает издержки при эксплуатации газосепараторов.

Предложенное техническое решение применимо практически для всех конструкций газосепараторов УЭЦН с защитными гильзами внутри корпусов. Внедрение описанного технического решения в практику нефтяного машиностроения не потребует значительных затрат и перестройки технологического процесса.

Исследования выполнены при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSNM-2023-0005).

Список источников

1. Мусинский А.Н. Разработка и исследование вихревых газосепараторов для высокодебитных скважин: дис. ... канд. техн. наук – 168 с.
2. Перельман, М.О. Особенности многофазных течений в газосепараторах, определяющие их гидроабразивную стойкость / М.О. Перельман, М.П. Пещеренко, С.Н. Пещеренко // Бурение и нефть. – 2013. – №5. С. 42 – 44.
3. Повышение наработки скважинных насосных установок в условиях добычи нефти с высоким содержанием механических примесей / Д. И. Шишлянников, Ю. Г. Коротков, Д. Н. Лебедев, А. А. Иванченко, С. А. Фролов // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2022. № 5 (353). – С. 29–35.
4. Лыкова, Н.А. Оборудование для работы УЭЦН в условиях интенсивного выноса механических примесей/ Н.А. Лыкова // Инженерная практика. – 2017. – № 3. – С. 58–62.

УДК 622.331.002.5

ОПТИМИЗАЦИЯ УГЛА УСТАНОВКИ ФРЕЗЫ ТОРФЯНОГО БРОВКОРЕЗА

А.Л. Яблонев, д.т.н., Н.М. Жуков, асп., Д.М. Щербакова, асп., А.И. Пружинин, асп.
Тверской государственной технической университет, г. Тверь, Россия

Приведены результаты экспериментального исследования по обоснованию оптимального угла установки фрезы торфяного бровкореза по трем критериям: энергоемкости фрезерования, коэффициенту использования ширины фрезы и факту отсутствия забрасывания торфяной крошкой картовых каналов. Исследование проводилось в лабораторных условиях и показало, что оптимальным является угол установки фрезы в плане 20°.

Ключевые слова: торф, торфяной бровкорез, фреза, угол установки фрезы, энергоемкость, торфяная крошка, картовый канал.

OPTIMIZATION OF THE ANGLE OF THE PEAT EDGE CUTTER

Yablonev A.L., Zhukov N.M., Scherbakova D.M., Pruzhinin A.I.

The results of an experimental study to substantiate the optimal installation angle of the cutter of a peat edge cutter according to three criteria: the energy consumption of milling, the coefficient of use of the width of the cutter and the fact that peat chips are not thrown into cart channels are presented. The study was carried out in laboratory conditions and showed that the optimal installation angle of the cutter in terms of 20°.

Keywords: peat, peat edge cutter, cutter, cutter installation angle, energy consumption, peat crumb, cart channel.

Фрезерный способ добычи торфа предполагает послойную сработку торфяных полей (карт) [1, 2]. Но приканальная часть площадок карт шириной 0,25–0,5 м не вырабатывается, так как это места повышенной влажности залежи и пониженной ее несущей способности [3], сильно осложняющие работу технологического оборудования. Образуются бровки, затрудняющие добычу торфа и нарушающие выпуклый поперечный рельеф торфяных карт, необходимый для беспрепятственного удаления дождевых вод. Поддержание ровного выпуклого рельефа является актуальной задачей, от факта качественного решения ее зависит весь технологический процесс добычи торфа [4], поэтому поверхность карт либо заново полностью профилируют большими шнековыми профилировщиками, либо срезают образовавшиеся бровки специальными машинами – бровкорезами. Полное профилирование поверхности – весьма энергозатратная операция [5], требующая большого количества времени и средств, выполнение этой операции после 4–5 циклов добычи весьма неэффективно. Менее энергозатратны различные бровкорезы, среди которых наибольшее распространение получил финский бровкорез PRF-240 [6]. Программа по импортозамещению требует разработки подобной отечественной машины, но обладающей лучшими характеристиками. Финский бровкорез весьма компактен и мобилен, однако может обрабатывать только один край картового канала за проход. Кроме того, в трансмиссии машины использован специальный вертикальный редуктор с углом между входным и выходным валами около 130°, что накладывает определенные трудности при комплектовании. Для

уменьшения себестоимости и повышения производительности, нами начато проектирование бровкореза, который бы за один проход обрабатывал оба края карт, примыкающих к каналу и в конструкции которого был бы использован серийный универсальный редуктор.

Основной задачей в этом вопросе, являлось определение необходимого угла установки фрезы в плане. С одной стороны, он должен быть минимальным, чтобы не наблюдались резкие рост энергоемкости фрезерования и снижение активной ширины захвата фрезы, с другой стороны – достаточным для того, чтобы при фрезеровании не происходило забрасывание торфяной крошкой картовых каналов. Это типичная задача оптимизации по трем критериям. Она решалась экспериментальным методом с использованием лабораторной фрезерной установки [7, 8], оснащенной тензометрической аппаратурой ZetLab, которая была модернизирована для способности косоугольного фрезерования.

Возможность изменения различных параметров, таких как: скорость вращения фрезы, скорость поступательного движения тележки с монолитом, а также наличие быстромонтируемых моделей фрез с ножами разных форм, позволяла выполнять опыты в значительных диапазонах изменяющихся параметров.

Для определения траектории движения фрезерных частиц проведён эксперимент на лабораторной фрезерной установке с фиксацией следов крошки специальным экраном, на который перед каждым опытом закреплялись белые листы бумаги формата А1. На полотне экрана устанавливалась деревянная планка, условно изображающая край картового канала, совпадающий с торцовым краем фрезы.

Для формирования структурной прочности монолит торфа был заморожен при температуре от -5° до -3° С. Фрезерование осуществлялось при частоте вращения штифтовой фрезы равной 1000 об/мин, совпадающей с частотой вращения фрезы бровкореза PRF-240, и скорости поступательного движения тележки 0,381 м/с. Угол поворота фрезы изменялся от 0° до 40° с шагом 5° при глубине фрезерования 8 мм.

Поскольку в ходе эксперимента угол установки фрезы изменялся, происходило изменение и активной ширины захвата фрезы. Это – одно из негативных проявлений углового расположения рабочего органа и оценивать его предлагается коэффициентом использования ширины фрезы K_B , определяющимся отношением активной ширины захвата фрезы B_A к общей ширине фрезы B [9].

Определение энергоемкости фрезерования осуществлялось по графикам нагрузки F , снятым с помощью тензостанции Zet 017-T8 при девяти положениях фрезы с пятикратной повторяемостью опытов. При этом, для исключения случайных составляющих, производилось первое полировочное фрезерование для выравнивания монолита, после чего уже выполнялась основная серия экспериментов [10].

Результаты экспериментов по оценке коэффициента использования ширины фрезы и энергоемкости представлены на рис. 1 и 2.

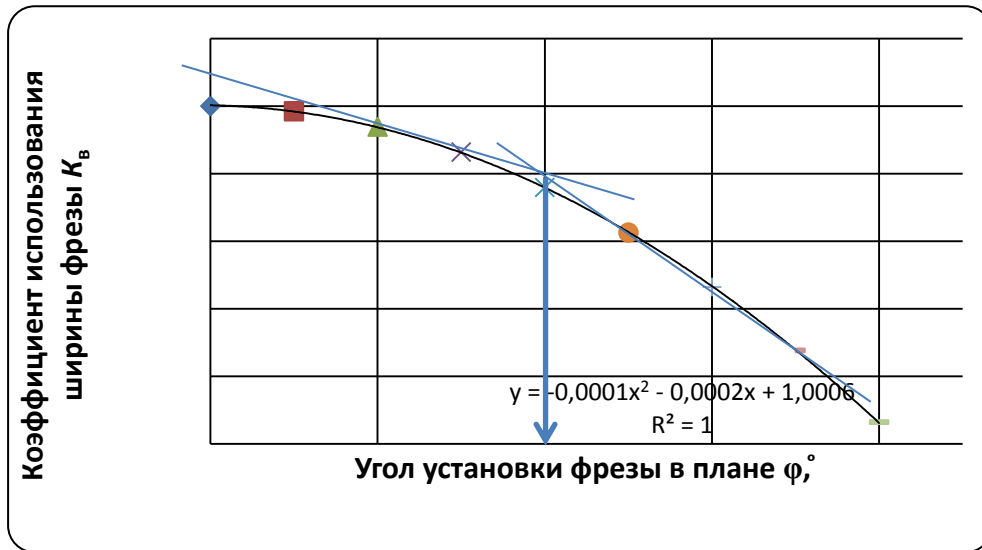


Рис. 1. Зависимость коэффициента использования ширины фрезы от угла ее установки

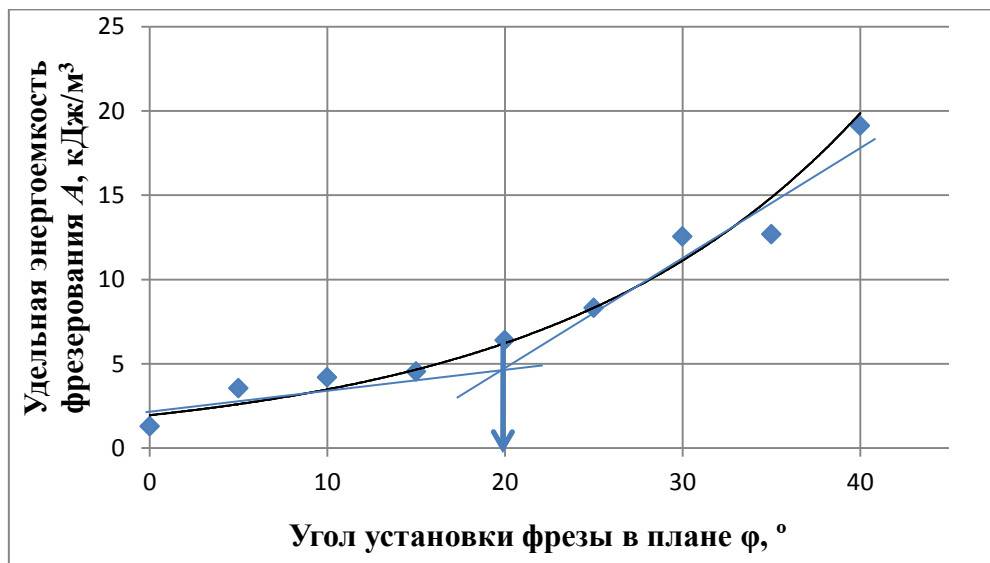


Рис. 2. Зависимость удельной энергоемкости фрезерования от угла установки фрезы в плане

Метод построения касательных, примененный на рис. 1 и 2 показал, что при превышении 20-градусного угла установки фрезы в плане начинается увеличение энергоемкости фрезерования и снижение коэффициента использования ширины фрезы.

Оценка траектории полета торфяной крошки по специальному экрану показала, что уже при 20-градусном угле установки фрезы в плане, на экране отсутствуют следы торфяной крошки за деревянной планкой, имитирующей край картового канала.

Выводы:

1. Анализ результатов проведенных экспериментальных исследований показал, что оптимальным, по критериям энергоемкости, коэффициента использования ширины фрезы и факту отсутствия забрасывания торфяной крошкой картовых каналов, является угол установки фрезы торфяного бровкореза в плане 20° .

2. Полученное оптимальное значение угла установки фрезы торфяного бровкореза в плане позволяет предложить использование в его конструкции стандартный универсальный вертикальный редуктор с углом между входным и выходным валами 90° . Передачу крутящего момента на угол 20° возможно осуществлять при этом с использованием карданных шарниров неравных угловых скоростей, которые показали высокую надежность при угле излома до 20° .

Список литературы

1. Мисников О.С., Копенкина Л.В. Возникновение торфяного дела в России // Горный журнал, 2020. № 2. - С. 95–99.
2. Самсонов Л.Н. Фрезерование торфяной залежи. М.: Недра, 1985. - 211 с.
3. Ratamäki O., Jokinen P., Albrecht E., Belinskij A. Framing the Peat: the Political Ecology of Finnish Mire Policies and Law // Mires and Peat. 2019. - Vol. 24 (17). - pp. 1-12.
4. Справочник по торфу // Под ред. А.В. Лазарева и С.С. Корчунова. М.: Недра, 1982. - 760 с.
5. Фомин К.В. Методика оценки спектральной плотности момента сопротивления на рабочем органе торфяного фрезерующего агрегата // Записки горного института, 2020. Т. 241. - С. 58-67.
6. MERIPEAT. Режим доступа: <https://www.meripeat.com/ru/products-ru/milled-peat-production-ru> (дата обращения 2.11.22).
7. Мисников О.С., Копенкина Л.В., Зюзин Б.Ф. Научные школы Московского торфяного института и их развитие в Тверском государственном техническом университете // Горный журнал, 2022. № 5. - С. 9–22
8. Яблонев А.Л., Крутов Ю.В. Применение средств современного цифрового тензометрирования при исследовании нагруженности элементов торфяных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-техн. журнал), 2016. № 8. - С. 200-205.
9. Яблонев А.Л., Жуков Н.М. Расчет момента сопротивления фрезерованию торфяной залежи при взаимодействии фрезы с закрепленным древесным включением // В сб. «Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности». Сб. тр. XIX Междун. научно-техн. конф. сер. «Чтения памяти В.Р. Кубачека». Под общ. ред. Ю.А. Лагуновой. Екатеринбург, 20–21 мая 2021 г. Екатеринбург: УГГУ, 2021. С. 142-145.
10. Яблонев А.Л. Цифровое тензометрирование при лабораторном исследовании процесса фрезерования торфяной залежи // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-техн. журнал), 2018. № 1. - С. 182-189. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-1-0-182-189

УДК 622.331.002.5

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВСАСЫВАНИЯ ТОРФЯНОЙ ФРЕЗЕРНОЙ КРОШКИ СОПЛОМ С ПОМОЩЬЮ МУНДШТУКА

А.Л. Яблонев, д.т.н., Д.М. Щербакова, к.т.н.

Тверской государственной технической университет, г. Тверь, Россия

Исследование интенсивности всасывания торфяной фрезерной крошки с помощью мундштука осуществлялось в лабораторных условиях. В результате исследования разработаны насадки-мундштуки повышающие интенсивность всасывания соплом и определены их рациональные параметры. В качестве критерия эффективности принята длина оси активной зоны всасывающего факела. Использование мундштука с углом активации расстила 55-60° привело к увеличению оси активной зоны всасывающего факела более чем в 2 раза.

Ключевые слова: торфяные частицы, сопло, торфяная залежь, всасывающий факел, плотность, длина оси факела, насадок-мундштук, рациональные параметры.

ABOUT THE EFFICIENCY OF THE SUCTION OF PEAT MILLING CHIPS BY A NOZZLE USING A MOUTHPIECE

A.L. Yablonev, D.M. Scherbakova

The study of the intensity of absorption of peat milling chips using a mouthpiece was carried out in laboratory conditions. As a result of the study, mouthpieces have been developed that increase the intensity of suction by the nozzle and their rational parameters have been determined. The length of the axis of the active zone of the suction torch is taken as an efficiency criterion. The use of a mouthpiece with an activation angle of 55-60° spread led to an increase in the axis of the active zone of the suction torch by more than 2 times.

Keywords: peat particles, nozzle, peat deposit, suction torch, density, length of the torch axis, nozzle-mouthpiece, rational parameters.

Для пневматического метода уборки фрезерного торфа характерно использование специальных пневмоуборочных машин, работающих по принципу всасывания [1]. Поскольку машины с легкостью справляются с уборкой верхового торфа, в то время, как с переходным и низинным возникают трудности [2, 3], был проведен лабораторный эксперимент, направленный на поиск рациональных параметров установки всасывающего сопла, в ходе которого обоснованы следующие рациональные параметры: высота расположения сопла над подстилающей поверхностью – 25 мм и угол установки сопла – 30-35° к горизонту [4, 5].

Об интенсификации процесса всасывания за счет установки мундштуков (насадков) на сопло было известно и ранее [6-10]. Для решения задачи повышения интенсивности всасывания разработаны мундштуки, ограничивающие зону всасывания не только сверху, но и с боков (рис. 1). В качестве критерия эффективности принята длина оси активной зоны всасывающего факела, как время воздействия воздушного потока на торфяную частицу.

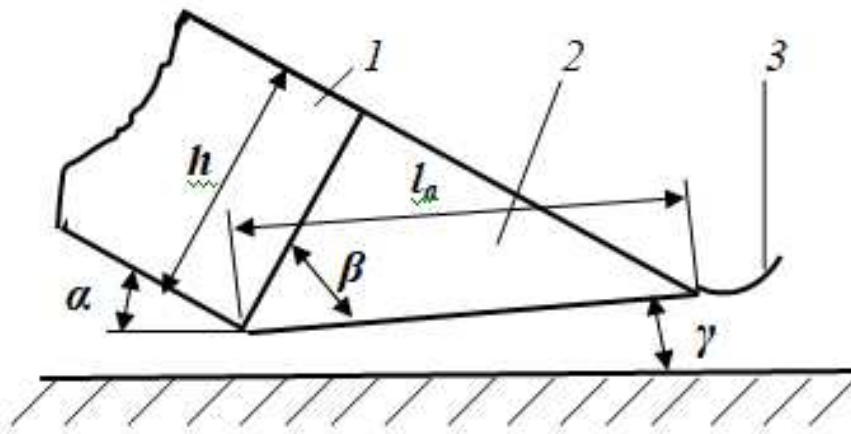


Рис. 1. Принципиальная схема и углы установки сопла и мундштука:

1 – всасывающее сопло; 2 – мундштук; 3 – козырек перед входом в мундштук; α – угол установки всасывающего сопла; β – угол активации расстила; γ – задний угол мундштука; l_a – активная длина мундштука; h – высота входной щели сопла

Всего спроектировано и изготовлено 4 модели мундштуков с углами активации расстила $\beta = 15, 30, 45$ и 60° . Минимальное значение угла активации расстила составляет половину угла внутреннего трения, максимальное значение вдвое больше угла внутреннего трения.

Первым этапом эксперимента было определение скорости воздушного потока во всасывающем факеле без использования и с использованием мундштука [11]. Наибольшее значение определенных скоростей соответствует установке сопла под углом $25\text{--}30^\circ$ и использованию мундштука с углом активации расстила $\beta = 60^\circ$.

Для определения длины оси активной зоны всасывающего факела при использовании различных мундштуков было проведено экспериментальное исследование по оценке эффективности всасывания торфяной фрезерной крошки [11].

Из всех полученных зависимостей наиболее рациональными параметрами установки сопла и активации расстила можно считать те, которые обеспечивают наибольшую фактическую длину оси активной зоны всасывающего факела. Такими параметрами в случае, как с верховым, так и с переходным торфом являются: угол установки сопла $\alpha = 30^\circ$, угол активации расстила $\beta \rightarrow 60^\circ$. Следовательно, угол атаки расстила $\theta = \alpha + \beta \rightarrow 90^\circ$. Однако, тогда задний угол (рис. 1) $\gamma \rightarrow 0^\circ$. Технологически это невозможно, поскольку при работе машины, особенно при ее движении задним ходом на разворотах и прочем маневрировании высока вероятность повреждения мундштука с соплом вплоть до их отрыва из-за трения о подстилающую поверхность залежи. Поэтому очевидно, что задний угол должен быть отличен от нуля и принимать значение $0^\circ < \gamma \leq 5^\circ$. Тогда угол атаки расстила $85^\circ \leq \theta < 90^\circ$, что обеспечивается за счет угла установки сопла $\alpha = 30^\circ$ и угла активации расстила $55^\circ \leq \beta < 60^\circ$. Данные параметры следует считать рациональными [11].

Для сравнения эффективности работы всасывания соплом с помощью мундштука приведены графические данные (рис. 2) и табличные (табл.) зависимости длины оси активной зоны всасывающего факела от рациональных параметров установки сопла без использования и с использованием мундштука. Анализ приведенных данных показывает, что длина оси активной зоны всасывающего факела при использовании мундштука увеличивается более чем в 2 раза.

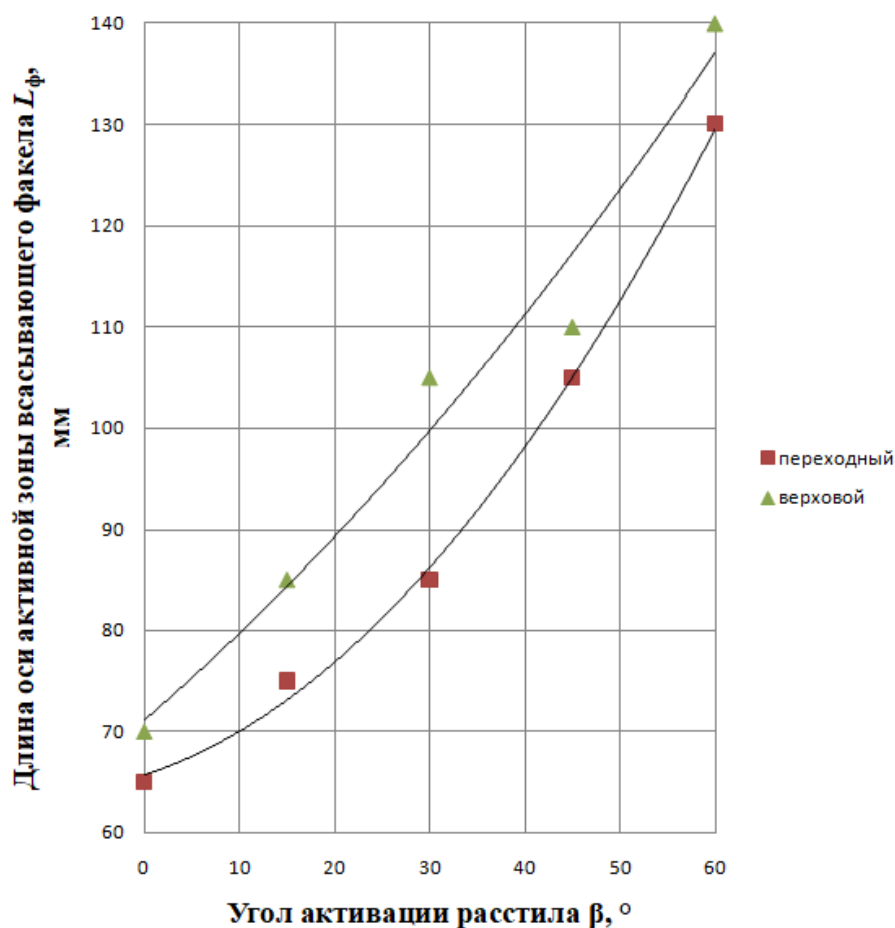


Рис. 2. Сравнение эффективности работы рационально установленного сопла с использованием мундштука.

Таблица. Длина оси активной зоны всасывающего факела при рациональных параметрах установки всасывающего сопла

Угол установки сопла α , °	Длина оси активной зоны всасывающего факела, мм	
	Переходный торф	Верховой торф
30	65	70
35	60	65

Выводы

Результаты проведенной серии экспериментальных работ показали, что использование мундштука повышает интенсивность всасывания фрезерной крошки за счет увеличения длины оси активной зоны всасывающе-

го факела, более чем в 2 раза. Рациональным углом активации расстила является угол $\beta = 55-60^\circ$ для сопла с углом установки $\alpha = 30-35^\circ$. Предложенные формы мундштуков позволяют увеличить интенсивность всасывания по критерию максимальной длины оси активной зоны всасывающего факела. Наибольшей эффективностью всасывания отличается система с углом установки сопла $\alpha = 30^\circ$, углом активации расстила $55^\circ \leq \beta < 60^\circ$ и углом атаки расстила $85^\circ \leq \theta < 90^\circ$.

Список литературы

1. Панов В.В., Мисников О.С., Купорова А.В. Проблемы и перспективы развития торфяного производства в Российской Федерации // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-техн. журнал), 2017. № 5. - С. 105-117.
2. Гейлер В.Л., Дубовиков С.Л. Опыт работы ЗАО «Росторфинвест» // Торф и Бизнес, 2006. № 1(3). - С. 18-21.
3. Самсонов Н.Н. О целесообразности совмещения естественной сушки фрезерного торфа с искусственной его досушкой: монография. Тверь: ТвГТУ, 2015. - 88 с.
4. Яблонев А.Л., Щербакова Д.М. Обоснование параметров установки сопла торфяной пневмоуборочной машины над подстилающей поверхностью залежи // Вестник ТвГТУ. Серия «Технические науки», 2021. № 4(12). - С. 38-45.
5. Яблонев А.Л., Щербакова Д.М. Обоснование параметров установки всасывающего сопла торфяной пневмоуборочной машины // Горный журнал, 2022. № 5. - С. 57-62.
6. Яблонев А.Л., Щербакова Д.М. Исследование работы всасывающего сопла машины для пневматической уборки фрезерного торфа // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности. Сб. тр. XVIII Междун. научно-техн. конф. «Чтения памяти В.Р. Кубачека». Екатеринбург: УГГУ, 2020. - С. 80-83.
7. Прягаев Ю.В. Есть ли будущее у пневмовалкователя? // Торф и Бизнес, 2007. № 2(8). - С. 23-26.
8. Волкус С.П., Кислов Н.В. Результаты определения потерь давления в пневмоуборочном сопле при работе на чистом воздухе // Технология торфяного производства и торфяные машины. Вып. 2. Минск: Вышэйшая школа, 1973. - С. 78-91.
9. Кислов Н.В., Волкус С.П. Исследование работы пневматических сопел на торфовоздушной смеси // Технология торфяного производства и торфяные машины. Вып. 2. Минск: Вышэйшая школа, 1973. - С. 92-102.
10. Рогов В.А. Влияние состава и свойств древесной пыли на режим работы и параметры централизованной пылеуборочной установки / В.А. Рогов. Дис. ... канд. техн. наук. по спец. 05.21.05. Красноярск: СибНИИЛП, 1983. - 225 с.
11. Яблонев А.Л., Щербакова Д.М. Обоснование параметров мундштука для всасывающего сопла торфяной пневмоуборочной машины // Вестник ТвГТУ. Серия «Технические науки», 2022. № 1(13). - С. 46-56.

МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

***Чтоб из масс,
«N-содержащих»,
Зёрна ценные извлечь,
В цепь событий предстоящих
Труд машин сих должен лечь!***

Доц. П.А. Жиганов

УДК 622.271:622.7

МАШИНЫ И ПРОЦЕССЫ ДЕЗИНТЕГРАЦИИ ПЛАВУЧЕГО КОМПЛЕКСА ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ РУД АРКТИКИ

Н.А. Алтынников, студ., А.С. Корогодин, асп., С.Л. Иванов, проф., док. техн. наук
Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

На современном этапе развития наметилась тенденция ухудшения качества рудного продукта из-за истощения месторождений страны, что стимулирует активную разведку новых месторождений страны. К таким перспективным свинцово-цинковым месторождениям в России относится крупное по запасам месторождение "Павловское" на архипелаге Новая земля. Условия освоения этого месторождения имеет ограничения в строительстве, поэтому горно-обогатительный комплекс располагается на плавучей платформе. Горно-обогатительные машины подбираются под условия исходной и требуемой на выходе руды. Схема цепи аппаратов дезинтеграции свинцово-цинковых руд составлена с учетом минимизации материальных потоков дробимой руды и обеспечения полной загрузки оборудования.

Ключевые слова: месторождения Арктической зоны, плавучий горно-обогатительный комплекс, технологический процесс, стадия дробления, измельчение, шаровые мельницы, конечная фракция, щековая дробилка, конусная дробилка.

MACHINERY AND PROCESSES OF DISINTEGRATION OF FLOATING MINING EQUIPMENT COMPLEX IN THE DEVELOPMENT OF LEAD-ZINC ORES IN THE ARCTIC

N.A. Altynnikov, A.S. Korogodin, S.L. Ivanov

At the present stage of development, there is a tendency for the quality of the ore product to deteriorate due to the depletion of the country's deposits, which stimulates active exploration of new deposits in the country. Such promising lead-zinc deposits in Russia include the Pavlovskoye deposit, which is large in reserves in the Novaya Zemlya archipelago. The conditions for the development of this deposit have their limitations in construction, therefore, the mining and processing complex of which is located on a floating platform. Mining and processing machines are selected under the conditions of the initial and required ore output. The circuit diagram of the disintegration apparatus of lead-zinc ores is made taking into account the minimization of material flows of crushed ore and ensuring full loading of equipment.

Keywords: Deposits of the Arctic zone, floating mining and processing complex, technological process, crushing stage, grinding, ball mills, final fraction, jaw crusher, cone crusher.

Павловское месторождение по своим запасам является крупнейшим месторождением цинка со средним содержанием последнего 6,32 %, оценивается в $1325,3 \times 10^3$ т, расположено в Арктической зоне на Новой земле [1]. Для получения рудного концентрата планируется применение плавучего комплекса горного оборудования, объединяющего в себе процесс дробления и измельчения добытой руды и последующую ее флотацию для получения рудного концентрата. Концепция комплекса дезинтеграции заключается в установке дробильно-сортировочного оборудования на многоотсекной и многопалубной плавучей базе, расположенной в непосредственной близости от карьера. Энергоснабжение как комплекса, так и карьера осуществляется от плавучей электростанции [2]. Применение такого решения, обусловлено сложным географическим положением месторож-

дения хрупкой экологической обстановкой, что может привести к депопуляции редких птиц и животных, которые занесены в красную книгу России. Тем более жесточайшие погодные условия и отсутствие объектов логистической инфраструктуры не позволят применение классических подходов при решении этого вопроса.

Таким образом, применение плавучего дробильно-сортировочного комплекса является наиболее эффективным в освоении месторождения. Получение концентрата предполагает два этапа:

Первый этап – дезинтеграция руды от – 750 мм до -10 мм;

Второй этап – собственно процесс флотации и обогащения.

Схема цепи аппаратов процесса дезинтеграции полезного ископаемого, представлена на рисунке 1.

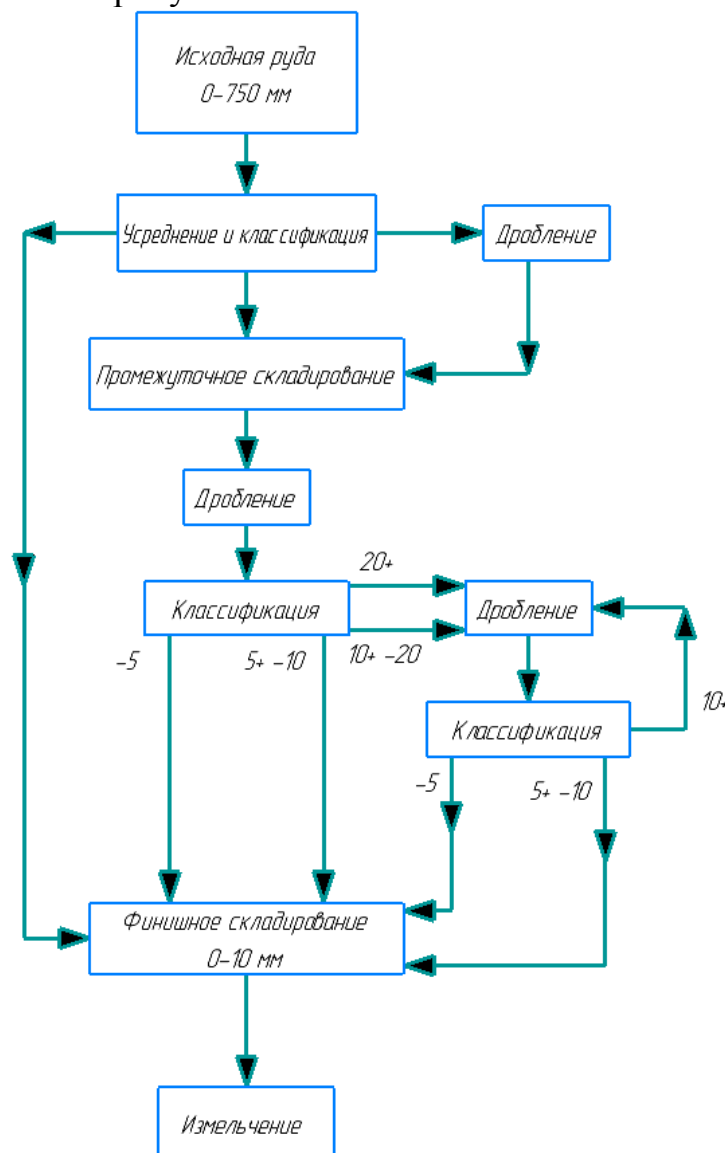


Рисунок 1 – Технологический процесс рудоподготовки

Она заключается в трехстадийном процессе дробления и финишном процессе измельчения. Такая технология снижения размеров фракции, позволяет в дальнейшем направить руду на этап флотации для получения

концентрата. Транспортировка руды внутри плавучего комплекса осуществляется конвейерно-гравитационным транспортом. Технологическая цепь аппаратов начинается с приемного бункера объемом 50 м^3 , оснащенного решеткой с ячейкой $0,75 \text{ м}$ и гидро-пневмомолотом ИГСД-1 с энергией удара $20 \cdot 10^3 \text{ Дж}$.

На первой стадии дробления задействованы грохот-питатель и щековая дробилка. На второй стадии, предварительно дезинтегрированный материал поступает в промежуточный бункер из него в конусную дробилку и далее на вибрационный грохот. [3] Задача третьей стадии дробления заключается в доизмельчении в роторной дробилке с последующим разделением вибрационным грохотом продукта измельчения. На последней стадии дезинтеграции измельчение осуществляется в шаровой мельнице.

Рассмотрим подробнее всю цепочку дезинтеграции [4]. Исходная фракция автотранспортом доставляется до первичной станции дробления, которая располагается на борту карьера. Исходный материал представляет собой карбонатные породы с высокой свинцово-цинковой минерализацией, максимальный размер куска, поступающего на входе, составляет 750 мм . Исходный материал к плавучему комплексу доставляется автотранспортом, обеспечивая производительность в 300 т/ч . Руда сгружается в приемный бункер с питателем и колосниковым грохотом ГИТ-62. Приемный бункер служит для усреднения исходного материала по крупности, что позволяет повысить однородность исходной горной массы. Колосниковый двухдечный грохот предназначен для классификации руды по крупности, на фракции:

- фракцию -10 мм сразу направляют в конечный аккумулирующий бункер;
- фракция $+10 -130 \text{ мм}$ направляется в промежуточный бункер объемом 30 м^3 ;
- фракция $+130 \text{ мм}$ направляется непосредственно в зев щековой дробилки ШДС – 8×10 .

Дробилка щековая представлена моделью ШДС – 8×10 , с мощностью электродвигателя 132 кВт , и размером выходной щели (CSS) 110 мм . Продукт после дробления имеет максимальный размер 220 мм . [5] Производительность дробилки оценивается из выражения

$$Q=0,5nS_HL(a+b)\mu\rho/\text{tg}\alpha_1,$$

где n – частота качания щеки, S_H – ход щеки, L – длина камеры дробления, $a+b$ – сумма максимального и минимального размера выходной щели, μ – коэффициент разрыхления, ρ – плотность исходного материала, $\alpha_1=f(L, S_H)$.

Бункер промежуточного дробления является источником питания рудой конусной дробилки КСД-2200Т-Д, которая доводит размер фракции до 45 мм . Дробилка представлена моделью с мощностью электродвигателя 315 кВт ; камера дробления – грубая; размер разгрузочной щели 24 мм . [5] Производительность дробилки рассчитывают по формуле

$$Q=210\mu\rho B^2(2B+1)^{0,5},$$

где B – ширина приемного отверстия.

На этой стадии отсутствует процесс передраблывания, так как конусная дробилка обеспечивает эффективный процесс дробления с 220 мм до 45,3 мм. Направление продукта 0-45,3 мм на передраблывание, приведет к перегрузке дробилки, для чего руда проходит стадию классификации на среднем инерционном грохоте ГИС–63, имеющим просеивающую площадь 2000 × 6000 мм, и разделяется на фракции:

- фракция -5 мм, направляется непосредственно в финишный аккумулялирующий бункер, и не требует дальнейшего изменения;
- фракция +5 -10 мм также проходит по гранулометрическому составу, и объединяется с фракцией -5 мм;
- фракция +10 -20 мм направляется в роторную дробилку;
- +20 мм объединяется с фракцией +10 -20 мм подается на роторную дробилку с горизонтальным валом, которая представлена моделью мощностью в 315 кВт, размеры щели 20 мм. Применение дробилки с горизонтальным валом обусловлено тем, что модель обеспечивает тонкое дробление, с высокой производительностью.

Дальше фракция загружается на двухдечный наклонный вибрационный грохот (ГИС–62) с площадью просеивания 2000 × 6000 мм, и разделяется на следующие фракции:

- -5 мм – фракция по гранулометрическому составу полностью удовлетворяет условиям финишного продукта, следовательно, направляется в финишный бункер;
- фракция +5 -10 мм смешивается с фракцией 0-5 мм, и загружается в финишный бункер;
- +10 мм – надрешетный продукт, снова поступает в дробилку для повторного уменьшения в размере.

Финишный аккумулялирующий бункер, объемом $V = 40 \text{ м}^3$, обеспечивает загрузку материалом барабанную мельницу, для доведения размера фракций пригодного для флотации. На станции измельчения установлена мельница шаровая с центральной разгрузкой МШЦ – 4500 × 6000. Производительность мельницы – 300 т/ч.

Выводы. Рассмотрен перспективный проект дробильно-сортировочного комплекса плавучего горного оборудования. Проект позволит эффективно применять и в кратчайшие сроки доставлять горное дробильно-сортировочное оборудование к месту его эксплуатации, находящееся в непосредственной близости от карьера в районе береговой зоны. Также комплекс позволит разместить оборудование, и, обслуживающие его инфраструктуры, не нанося экологический вред хрупкой природе Арктики. В качестве оборудования для рудоподготовки выбраны отечественные модели, что делает проект независимым от санкционного давления, повышает эффективность обслуживания и доступность запасных частей.

Список литературы

1. Белов С.В., Скрипниченко В.А., Ушакова В.А. Горно-геологическая и экономическая характеристика месторождений свинцово-цинковых руд в российской Арктике // Арктика и Север. 2022. № 48. С. 5–28. DOI: 10.37482/issn2221-2698.2022.48.5
2. Геотехнология и горно-обогащительный плавучий комплекс для освоения месторождения "Павловское" / А. С. Корогодин, С. Л. Иванов, В. И. Князькина, А. Р. Газизуллина // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2022. – № 15. – С. 124-135. – DOI 10.26160/2658-3305-2022-15-124-135. – EDN STIWBH.
3. Хопунов, Э. А. Моделирование процессов дезинтеграции руд / Э. А. Хопунов // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2016. – № 3. – С. 104-114. – EDN ITTVQL.
4. Возможности стадийной дезинтеграции и механической активации в процессах обогащения техногенного оловосодержащего сырья / Ф. Х. Уракаев, Л. Г. Шумская, Е. А. Кириллова, С. А. Кондратьев // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2021. – № 3. – С. 158-167. – DOI 10.15372/FTPRPI20210315. – EDN MTNCIM.
5. Пономарев В. Б., Лошкарев А. Б. Щековые и конусные дробилки: Методические указания по курсовому проектированию. М.: ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2008. 71 с.

УДК 621.271.022

ЦИФРОВАЯ ДИАГНОСТИКА В МОНИТОРИНГЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ГОРНЫХ МАШИН

В.С. Великанов^{1,2} проф. д.т.н., **В. А. Овчинникова**¹, директор Уральской передовой инженерной школы

¹«УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, РФ

²ООО «Лаборатория теротехнологии наземных транспортно-технологических комплексов», г. Екатеринбург, РФ

В технологической цепи переработки полезных ископаемых процесс дробления является одним из самых энергоемких. На современном этапе развития технологии переработки руд широкое применение находят конусные дробилки мелкого и среднего дробления. Эффективность эксплуатации конусных дробилок определяется не только степенью дробления и гранулометрическим составом дробленой руды, но и состоянием футеровочной брони.

Ключевые слова: полезное ископаемое, дробилка, износ, конус, броня

DIGITAL DIAGNOSTICS IN MONITORING SURFACES OF WORKING BODIES OF MINING MACHINES

Velikanov V.S., Ovchinnikova V.A.

In the process chain of mineral processing, the crushing process is one of the most energy intensive. At the present stage of development of ore processing technology, cone crushers of fine and medium crushing are widely used. The efficiency of operation of cone crushers is determined not only by the degree of crushing and granulometric composition of crushed ore, but also by the condition of the lining armor.

Keywords: mineral, crusher, wear, cone, armor

Предприятия горнодобывающей отрасли - это поставщики минерального сырья, тесно связанные с предприятиями оборонно-промышленного комплекса, энергетики, обрабатывающей промышленности и других отраслей. Широкое использование цифровых технологий является отличительной чертой сверхиндустриального промышленного производства – Индустрии 4.0.

В 2018 г. в РФ утверждена национальная программа «Цифровая экономика РФ», цель программы - общесистемное развитие и внедрение цифровых технологий во все области жизни. Термин «Индустрия 4.0» в общем понимании применяется для характеристики новых, передовых и потенциально прорывных технологий, включая полную цифровизацию и искусственный интеллект, а также создание нового поколения оборудования, объединенных в одну цифровую экосистему. Цифровая трансформация в горном деле направлена, прежде всего, на повышение производительности, ставится задача пятикратного роста производительности труда и повышения не менее чем в 2–3 раза основных показателей уровня промышленной и экологической безопасности [1-3].

Общеизвестно, что процесс дробления является одним из самых энергоемких технологических процессов в переработке полезных минералов. Ход процесса заключается в достижении требуемой крупности

перерабатываемого сырья, который зависит от влияния ряда основных факторов: многомерность, многосвязность, нелинейность, физико-механические свойства полезного ископаемого, форма и размер кусков горной породы, положение дробимого материала внутри камеры дробления, скорости движения кусков, износом футеровочной брони и элементов агрегата, а также конструктивными параметрами дробилки.

В технологической цепочке переработки полезных ископаемых эффективность процесса дробления возможно достичь реализацией рациональных режимных параметров работы дробильного оборудования, обеспечивающих заданную производительность и гранулометрический состав дробленой руды при минимальных затратах электроэнергии.

Необходимо отметить следующее, что статистика по вынужденным остановкам дробилок составляет порядка 16–20 % их фонда рабочего времени, простои обусловлены необходимостью замены физически изношенных деталей. Коэффициент использования дробильного оборудования в среднем на отечественных горно-перерабатывающих предприятиях составляет 0,75–0,86 % [4-5].

Конусные дробилки основной вид высокотехнологического горного оборудования, представленного на отечественных горных предприятиях с широким спектром типов и модификаций. В конусной дробилке реализовано разрушение материала за счет раздавливания и истирания между неподвижной и движущейся поверхностями (рис. 1).

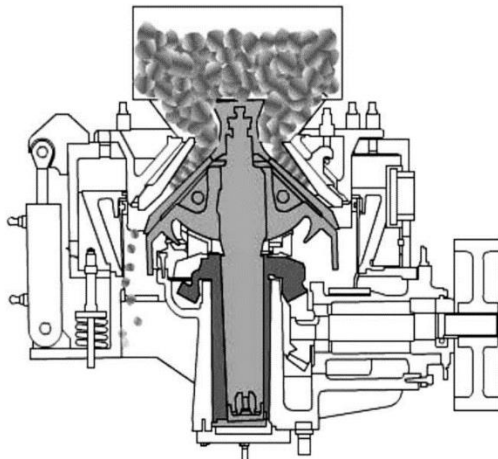


Рис. 1. Конусная дробилка среднего дробления

В процессе работы дробилок на их основные узлы действуют значительные динамические нагрузки, приводящие к выработке поверхностей, появлению раковин и трещин. Исследования показывают, что футеровочные брони дробилок среднего (КСД) и мелкого (КМД) типов дробления являются наименее износостойкими и подвержены интенсивному износу, из-за постоянного контакта с абразивной породой и имеют наименьший ресурс по сравнению с другими узлами. Интенсивное изнашивание футеровочной брони приводит к изменению размеров разгрузочной щели в сторону увеличения, что в итоге приводит к увеличению крупности дробленного продукта, что отрицательно влияет не

только качественно-количественные характеристики процесса дробления, но и приводит к росту потребляемой мощности при приближении к максимальной пропускной способности камеры дробления. Кроме того, увеличение размера разгрузочных щелей допускает высокую производительность по питанию, но сопровождается снижением степени дробления и ростом средневзвешенного размера куска материала в разгрузке дробилки.

Управление современным промышленным производством опирается на использование информации большого объема и различной природы. Одним из видов используемой информации в системах управления являются изображения, на основе которых принимаются решения не только о качестве готовой продукции, но и о необходимости проведения ремонтных или иных воздействий для технологического оборудования. В работе [6] реализован оригинальный подход в цифровом распознавании степени износа резьбовых соединений бурильного инструмента (рис. 2, а), в исследованиях [7, 8] представлен принцип реализации видеоэндоскопических наблюдений за состоянием футеровочной брони конусной дробилки. Визуальный мониторинг любой точки рабочей зоны конусной дробилки осуществляется через технологические отверстия в подвижном и неподвижном конусе дробилки в период её технического обслуживания или технологической остановки (рис. 2, б).

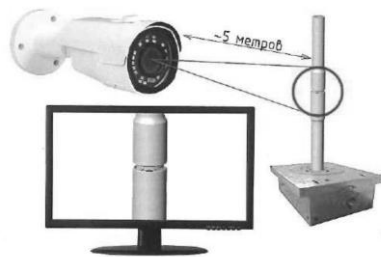


Рис. 2, а. Исследования по цифровому распознаванию износа резьбовых соединений бурильного инструмента



Рис. 2, б. Принцип реализации видеонаблюдения за состоянием футеровочной брони дробилки

Сложность алгоритмов, используемых при получении и обработке визуальной информации, ограничивает диапазон ее применения, и до настоящего времени для получения и принятия решений привлекаются как правило человеческие ресурсы, которые позволяют представить результаты экспертной оценки. Основными недостатками способа визуальной оценки изображения являются: наличие ошибочных решений при классификации дефектов; высокие трудовые затраты; зависимость результата от опыта эксперта. Автоматизированный способ получения экспертной информации также не лишен недостатков, среди которых наиболее существенным является отсутствие ответственности при неверно принятом решении о развитии дефектов.

На основании анализа научной литературы нами установлено, что перспективным направлением контроля и диагностирования являются ви-

зуальные методы, которые реализуются с помощью систем формирования изображений и автоматизированных систем обработки изображений (АСОЗ).

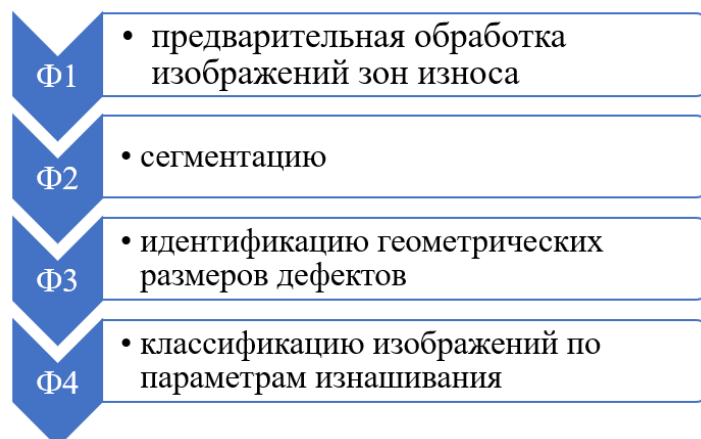


Рис. 3. Функционал АСОЗ

Формирование изображений зоны износа футеровочной брони конусных дробилок проводится следующим образом. Возможны два варианта получения изображения зон. Первый наиболее простой, в момент остановки дробилки при проведении какого-либо ремонтного воздействия. Предварительно очищенная футеровочная броня дробящего конуса ориентируется относительно цифровой фотокамеры, освещается, и отраженный световой поток попадает на цифровую фотокамеру системы формирования изображений.

Список литературы

1. Platform “Industry 4.0” URL: <https://www.plattform40/>
2. Петерс Х. «Индустрия 4.0» как основа современных прикладных исследований в черной металлургии // Черные металлы. 2017. № 7. С. 56–63.
3. The challenges of Industry 4.0 and the need for new answers in the mining industry / V. S. Velikanov, N. V. Dyorina, A. N. Korotkova, K. S. Dyorina // Известия Уральского государственного горного университета. – 2021. – №. 2(62). – P. 154–166.
4. Гончаров А.Б., Тулинов А.Б., Иванов В.А. Восстановление износа опорной чаши конусной дробилки // Горный информ-аналит. бюл. 2016. № 9. С. 22–28.
5. Бойко П.Ф. Оптимизация технического обслуживания и ремонта механического оборудования // Горный журнал. 2011. № 6. С. 52–54. 4. Мнацакян В.У., Бойко П.Ф. Технология восстановления работоспособности эксцентриковых стаканов дробильных агрегатов // Технология машиностроения. 2011. № 2. С. 38–39.
6. Кульчицкий В.В., Насери Я., Шаркунов П. А. Цифровое распознавание параметра износа резьбовых соединений бурильного инструмента // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2020. № 4(328). С. 32-35.
7. Великанов В. С., Бочков В. С., Дёрина Н. В., Бочкова К. В. Оценка технического состояния футеровочной брони конусных дробилок на основе цифровой диагностики их поверхностей // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. № 11–2. С. 159–168.
8. Implementing a Discharge Slot Width Control System in Cone Crushers / Гришин И.А., Бочков В.С., Великанов В.С., Дёрина Н.В., Суровцов М.М., Морева Ю.А. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2022. Т. 20. №2. С. 13–22.

УДК 622.73

ОБОРУДОВАНИЕ «ВИБРОТЕХНИК» ДЛЯ ПРОБОПОДГОТОВКИ В МОБИЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ

М.М. Григорьев, специалист по продажам оборудования
ООО «ВИБРОТЕХНИК», г. Санкт-Петербург

Приведены сведения о лабораторном оборудовании производства компании «ВИБРОТЕХНИК» для пробоподготовки в мобильных лабораториях.

***Ключевые слова:** Пробоподготовка, мобильная лаборатория, оборудование, дробление, измельчение, рассев, исследования.*

VIBROTECHNIK EQUIPMENT FOR SAMPLE PREPARATION IN MOBILE LABORATORIES

Grigoriev M.M., VIBROTECHNIK LLC, St. Petersburg

Information is provided on the laboratory equipment manufactured by the company «VIBROTECHNIK» for sample preparation in mobile laboratories.

***Keywords:** Sample preparation, mobile laboratory, equipment, crushing, grinding, sieving, research.*

Краткая справка о компании:

ООО «ВИБРОТЕХНИК» - ведущий российский разработчик и производитель лабораторного оборудования для измельчения и отсева материалов. Продукция компании «ВИБРОТЕХНИК» применяется в различных отраслях промышленности для подготовки проб и в производственных процессах. География поставок включает в себя более 50 стран, а общее количество клиентов превышает 12 000 предприятий. В числе заказчиков компании - лидеры горнодобывающей и металлургической промышленности, строительного комплекса, крупнейшие концерны химической и фармацевтической отраслей. Оборудование компании «ВИБРОТЕХНИК» используется в ведущих ВУЗах страны для обучения студентов и проведения научно-исследовательских работ [1].

Мобильные лаборатории играют важную роль в эффективной организации геологоразведочных работ в удаленных районах. Наличие мобильной лабораторий пробоподготовки в непосредственной близости от участка геологических работ позволяет сократить издержки на транспортировку проб на лабораторные исследования. А в случае объединения пробоподготовительной и пробирной лабораторий в единый мобильный комплекс достигается также значительная экономия времени, что особенно важно для регионов, в которых существуют сезонные ограничения на проведение работ. Компания «ВИБРОТЕХНИК» на протяжении более 30 лет разрабатывает и производит оборудование для пробоподготовки, которое широко используется в мобильных и модульных лабораториях в России и за рубежом.

В 2017 году ООО «ВИБРОТЕХНИК» совместно с АО «Химреактивснаб» реализовало проект по созданию мобильной лаборатории по за-

казу золоторудной компании «Омчак» на базе стандартного 40-футового контейнера. Лаборатория была оснащена Дробилкой щековой ЩД 15 с Блоком пылеулавливания БПУ, Дробилкой Валковой ДВГ ДВГ 200x125 с Блоком пылеулавливания БПУ, Истирателем дисковым ИД 65 и Делителем проб ДП 20.



Рис. 1 Монтаж оборудования для пробоподготовки в мобильную лабораторию для ЗРК «Омчак»

В 2020 году АО «Иргиредмет» использовало при оснащении мобильного лабораторного комплекса для ООО «Амур Минералс» дробилки щековые ЩД-15 и ЩД-6.



Рис. 2 Дробилка щековая ЩД 15 в лаборатории ООО «Амур Минералс»

В 2021 году ООО «ВИБРОТЕХНИК» в сотрудничестве со своим эксклюзивным дистрибьютером в странах южной части Африки – компанией «Mineral Innovative Technologies (Pty) Ltd» - разработали и реализовали проект мобильной лаборатории пробоподготовки для «Northam Platinum Holdings Ltd» (ЮАР). Лаборатория оборудована Истирателем почвы ИП 1, Смесителем С 50.0 и Сократительным агрегатом САМ с Питателем вибрационным ПП 1.



Рис. 3 Мобильная лаборатория для «Northam Platinum Holdings Ltd»

Дробилки, истиратели, ситовые анализаторы, делители и сократители проб «ВИБРОТЕХНИК» отвечают всем требованиям, предъявляемым к оборудованию для мобильных лабораторий: компактность, высокая эффективность, надежность, удобство эксплуатации и простота обслуживания.

Список литературы

1. Официальный сайт компании ООО «ВИБРОТЕХНИК». Режим доступа: <http://vt-spb.ru>, дата обращения 01.03.2022.

УДК 621.271.022

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЩЕКОВОЙ И РОТОРНОЙ ДРОБИЛОК В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Е.А. Девяткин¹, магистрант, преп. СПО, Ю.А. Лагунова^{1,2}, проф., д.т.н.,
А. А. Жилинков¹, доц. к.т.н.,

¹Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, РФ

²«УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, РФ

Рассмотрены существующие способы дробления горных пород и проанализированы достоинства конструкций щековой и роторной дробилок, эксплуатируемых в горной промышленности. Приведены типы мобильных дробилок. В основу разработки приняты следующие классификационные признаки: виды мобильных дробилок, назначение, общие параметры, особенности дробилок, технологический процесс переработки. В соответствии с вышеперечисленными признаками определены классификационные параметры.

Ключевые слова: дробление, щековая дробилка, роторная дробилка, горная промышленность.

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF JAW AND IMPACT CRUSHERS IN THE MINING INDUSTRY

E.A. Devyatkin, Yu.A. Lagunova, A.A. Zhilinkov

The existing methods of crushing rocks are considered and the advantages of designs of jaw and impact crushers used in the mining industry are analyzed. The above type of mobile crushers. The development is based on the following classification features: types of mobile crushers, purpose, general parameters, features of crushers, processing technology. In accordance with the above characteristics, the classification parameters are determined.

Keywords: crushing, jaw crusher, impact crusher, mining.

В повседневной жизни процесс дробления приобретает огромное значение. Дроблению подвергают различные материалы от зерна, пластмассы, резины, бытовых и биологических отходов до горной породы и др.

В горнодобывающей промышленности первичная горная порода крупных размеров получается путём буровзрывных работ. При выполнении закладки взрывчатого вещества определяется будущая крупность кусков породы после взрыва. Куски материала, превышающие максимальную крупность, требуют дополнительного разрушения гидро- или пневмомолотом.

В зависимости от назначения и технологических задач применяют конструкции, реализующие разные принципы дробления: раздавливание, раскалывание, истирание, ударное воздействие (молотки, билы, отбойные плиты). По принципу действия и конструктивному исполнению дробилки делятся на: щёковые, конусные, молотковые, роторные, валковые [1].

По способу установки и возможности передвижения различают дробилки: стационарные, полустационарные, мобильные на колёсном и гусеничном шасси.

Мобильные дробильные установки применяются в основном на производственных площадках, где нет необходимости устанавливать постоянно действующее оборудование. Чаще всего это небольшие щебеночные

карьеры вблизи строительства крупных транспортных магистралей, или строительные площадки в черте города для переработки отходов железобетонных конструкций, асфальтового покрытия дорог и сносимых зданий. В этих случаях оборудование может сравнительно свободно перемещаться от объекта к объекту, что позволяет значительно повысить эффективность его использования [3-5].

Кроме этого, мобильные дробильные комплексы нашли свое применение при закладке фундаментов зданий и сооружений, на заводах по переработке отходов и в местах утилизации отходов.

Щековая дробилка работает по принципу раздавливания материала, поступающего в нее, между двумя рабочими поверхностями – подвижной и неподвижной щеками. Щековая дробильная установка способна дробить большие обломки, пригодна для дробления бетона и природного камня. Конусный тип дробильной установки использует истирание и сжатие обрабатываемого материала между подвижным и неподвижным конусами.

Рассмотрим дробильную установку компании Komatsu серии GARAPAGOS – мобильной дробильной установки модели BR380JG-1. Эксплуатационная масса машины составляет 31,6 тонн, мощность двигателя 134 кВт BR380JG-1 способна передвигаться со скоростью 3 км/ч и имеет габаритные размеры: длина - 12,5 м, высота – 3,2 м, ширина – 2,95 м. Основным оборудованием этой установки является щековая дробилка, которая характеризуется следующими параметрами: размеры загрузочного и разгрузочного отверстий машины; наибольший размер куска загружаемого материала. Равномерность подачи и распределение по длине загрузочного отверстия загружаемого материала определяет производительность дробилки.

Дробилка роторного типа использует ударный принцип разрушения материала. Она применяется для вторичного дробления отходов асфальта, обломков природного камня. В результате дробления образуются круглые, кубовидные гранулы. Поступающие в дробилку обломки попадают на вращающиеся (на высокой скорости) лопасти ротора и отбрасываются по касательной в сторону ударной пластины, где они дробятся в результате соударения с пластиной.

Для примера рассмотрим мобильную дробильную установку роторного (ударного) типа серии Lokotrack модели LT1315. Оборудование имеет эксплуатационную массу 55 тонн. Модель является высокопроизводительной установкой ударного действия, которую можно перемещать с одного рабочего участка на другой без необходимости демонтировать основные узлы. Установка включает в себя дробилку Nordberg NP1315, которая имеет размер бункера питания 1540×930 мм, а ее ротор имеет диаметр 1300 мм. Молоты ударной дробилки NP крепятся к ротору с помощью обычного сварного узла, что позволяет обеспечить их максимальный момент затяжки. Производительность установки LT1315 составляет от 250 до 500 тонн/час.

Технические характеристики мобильных дробильно-сортировочных установок со щековыми и ударными дробилками приведены соответственно в таблицах 1 и 2 [2, 6-8].

Таблица 1. УСТАНОВКИ СО ЩЕКОВЫМИ ДРОБИЛКАМИ

Производитель	Марка	Питание мм	Продукт, мм	Производительность, т/ч	Масса, т
METSO (Финляндия)	Lokotrack LT110	670	250	700	60
	Lokotrack LT125	800	300	800	86
	Lokotrack LT140	900	350	1200	111
	Lokotrack LT160	1040	400	1800	215
EXTEC (Великобритания)	Extex C-10	650	150	225	32,4
KOMATSU (Япония)	Komatsu BR350JG-1	450	120	160	30
	Komatsu BR380JG-1	550	150	240	32,7
	Komatsu BR550JG-1	600	200	460	47,5
PARKER PLANT (Великобритания и Северная Ирландия)	Rock Ranger RE0805	500	125	140	28
	Rock Ranger RE1165	650	175	350	47
	Rock Ranger RE1180	800	200	350	58
	Rock Ranger RQ1180	800	200	350	57
Завод горного и дорожного оборудования (Россия)	ПДСУ-30	340	40	51	49,8
	ПДСУ-90	500	40	192	142,4

Таблица 2. УСТАНОВКИ С ДРОБИЛКАМИ УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ

Производитель	Марка	Питание мм	Продукт, мм	Произ- водительность, т/ч	Масса, т
METSO (Финляндия)	Lokotrack LT1315	600	150	600	55
	Lokotrack LT1415	1000	200	800	60
	Lokotrack LT1415S	1000	200	800	72
KLEEM AN GMBH (ФРГ)	MOBIREX MR122 Z	800	нет данных	350	65
HARTL (Австрия) (продана Atlas Copco)	Hartl Powercrusher PC 1060 I	600	60	200	30
	Hartl Powercrusher PC 1270 I	700	70	250	34
	Hartl Powercrusher PC 1310 I	1020	100	350	44
	Hartl Powercrusher PC 1375 I	750	75	300	40
KOMATSU (Япония)	Komatsu BR100RG-1	150	20	28	8,5
	Komatsu BR250RG-1	200	20	70	24,9
	Komatsu BR480RG-1	350	40	400	38

Время жестких санкций, предъявленных к России, требует скорейшей замены вышеперечисленного импортного оборудования на соответствующие аналоги.

Самыми неудачными с точки зрения компоновки и рациональности рабочих параметров выглядят отечественные установки производства компании «Завод горного и дорожного оборудования», ОАО "ЭЗТМ", ОАО "Волгацеммаш", ОАО "Уралмашзавод", ЗАО "Автокомполит" и др., см. таблицу 1. При своих весьма скромных производительностях они обладают, просто, чудовищной массой. Кроме того, являясь транспортируемыми, то есть лишёнными собственной ходовой части, они, к сожалению, уступают большинству самоходных установок конкурентов.

Результаты вычислений показывают, что установки с ударными дробилками демонстрируют, в основном, средние показатели.

Таким образом, щёковые дробилки являются более эффективным и производительным оборудованием для дробильно-сортировочных установок.

Выводы

Создание дробильно-сортировочных машин на базе ходового и дробильно-размольного оборудования отечественных заводов-изготовителей является важным направлением в развитии горнодобывающей, строительной-дорожной и др. отраслей. Появление машин-аналогов зарубежным конструкциям позволит добычным предприятиям вести более гибкую ценовую политику в отношении иностранной техники, определения объемов поставок и будет способствовать стабилизации рынка в области добывающей промышленности.

Список литературы

1. Лагунова Ю.А. Проектирование обогатительных машин. Учебник. Екатеринбург: Изд.УГГУ, 2009. – 378 с.
2. Лагунова Ю.А., Жиганов П.А., Червяков С.А. Анализ передвижных дробильных установок по производительности, массе и энерговооруженности // Горное оборудование и электромеханика. - № 2. – 2014. – С. 24-29
3. Некрасов Е.В., Климов В.Н. Мобильные дробильно-сортировочные установки со щёковыми дробилками // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. - Старый Оскол: Старооскольский технологический институт (филиал) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС" , 2017. - С. 180-185.
4. Реутова Я.И. Совершенствование конструкции роторной дробилки // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2016
5. Корчевский А.Н., Назименко Е.И., Науменко В.Г., Серафимова Л.И. Подготовительные процессы при обогащении полезных ископаемых. Дробление, измельчение, грохочение и классификация. - 1 изд. - Донецк: 2017. - 180 с.
6. www.metsominerals.ru - официальный сайт Metso
7. www.crushing.parkerplant.su - официальный сайт ParkerPlant
8. www.kwintmadi.ru - официальный сайт представителя Hurlt

УДК 622.73

ЦИКЛИЧНО-ПОТОЧНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ КОНУСНЫХ ДРОБИЛОК В КАРЬЕРЕ

А.С. Катаев¹, гл. механик, Л.А. Гаврилова², доцент, к.т.н.

¹АО «ЕВРАЗ Качканарский ГОК», г. Качканар, РФ,

²Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, РФ

В статье рассмотрены и представлены существующая схема рудоподготовки и предлагаемая циклично-поточная технология разработки железорудных карьеров. Обоснованы требования к дробильно-размольному оборудованию. Проведен анализ различных типов дробилок. Для повышения эффективности процесса дробления выбрана конусная дробилка крупного дробления.

Ключевые слова: дробильно-размольное оборудование, конусная дробилка, крупное дробление, рудоподготовка.

CYCLIC-FLOW TECHNOLOGY AND APPLICATION OF CONE CRUSHERS IN THE QUARRY

A.S. Kataev, L.A. Gavriloa

The article discusses and presents the existing scheme of ore preparation and the proposed cyclic-flow technology for the development of iron ore quarries. The requirements for crushing and grinding equipment are justified. The analysis of various types of crushers is carried out. To increase the efficiency of the crushing process, a large-scale cone crusher.

Keywords: crushing and grinding equipment, cone crusher, large crushing, ore preparation.

В нашей стране более 80 % железной руды добывается открытым способом. Усложнение горнотехнических условий карьеров, увеличение глубины разработки, возрастание объемов скальной горной массы вызывают необходимость внедрения циклично-поточной технологии с использованием конвейерного или автомобильно-конвейерного транспорта на открытых разработках. Для подготовки руд к транспортированию ленточными конвейерами на большинстве железорудных карьеров необходимо механическое дробление. В связи с этим прогресс в области циклично-поточной технологии зависит от создания оборудования для дробления руд в карьере [1, 2].

На базе руд Гусевогорского месторождения работает Качканарский горно-обогатительный комбинат производительностью около 55 млн. т в год с получением агломерата и окатышей. Руда на фабрику доставляется железнодорожными думпкарами грузоподъемностью 100 т с карьеров комбината в соответствии с месячным планом горных работ (рис. 1).

При освоении технологии переработки руд Гусевогорского месторождения было установлено, что основным фактором, влияющим на показатели обогащения, являются текстура руды, отражающая размер и форму вкрапленности титаномагнетита.



Рис.1 Существующая схема разработки Гусевогорского месторождения

Исследования показали, что из руд со средней вкрапленностью магнетита по технологической схеме, предусматривающей три стадии мокрой магнитной сепарации с конечной крупностью измельчения 0,1 мм может быть получен концентрат с содержанием 65 % железа.

Цикл рудоподготовки включает в себя операцию дробления и грохочения. Исходная руда с максимальной крупностью куска 1200 мм в любом измерении подается железнодорожным транспортом на обогатительную фабрику. Переработка, транспортировка и распределение исходной руды по бункерам на участке крупного дробления осуществляется по трем не взаимосвязанным технологическим линиям, а на участке среднего и мелкого дробления по двум. Процесс дробления идет по 1 и 2 линиям и включает в себя 4 стадии дробления, грохочение после третьей стадии, транспортировку и распределение готовой дробленой руды по бункерам цеха обогащения. Процесс дробления по 3 линии включает в себя три стадии дробления, грохочение после второй стадии и те же операции транспортировки, что у технологических линий 1 и 2.

Карьер собственно Качканарского месторождения имеет свои отличительные условия разработки. Для наилучшего удовлетворения спроса необходимо создание высококачественной продукции. Поэтому очень важным является построение эффективного производственного процесса, который определяется типом производства на предприятии. Для оптимизации транспортирования горной массы был предложен вариант циклично-поточной технологии (ЦПТ) (рис.2).

Этот выбор обусловлен основным принципом – обеспечение непрерывного транспорта руды из карьера (от дробильных установок) конвейерами до рудо-перегрузочного пункта (РПП) и далее до дробильно-обогатительной фабрики (ДОФ).

Проектом предусмотрен поэтапный ввод двух рудных линий ЦПТ. Каждая линия будет оснащена стационарной дробильной установкой (№ 1 и № 2), системой участковых конвейеров и комплексом оборудования РПП.

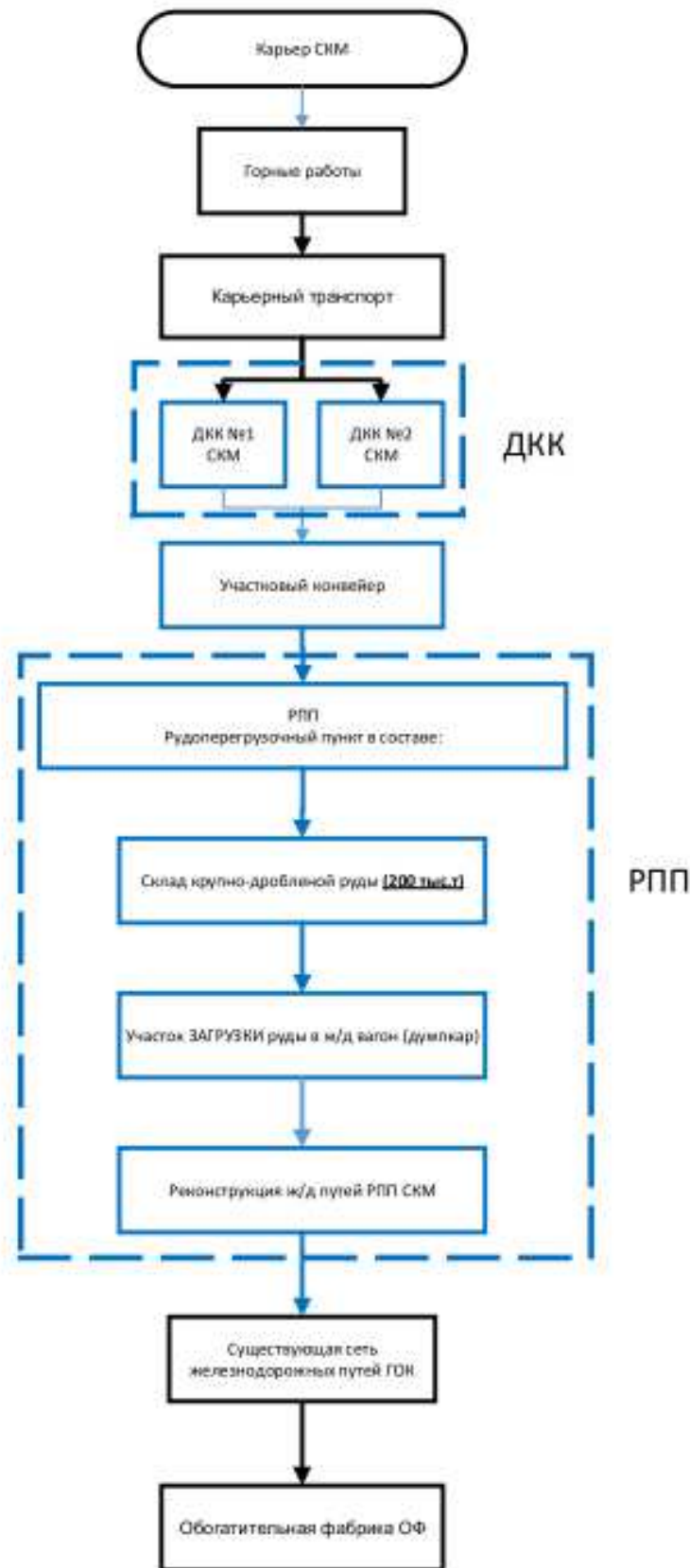


Рис. 2 Технологическая схема циклично-поточной технологии

Существующие дробильные агрегаты с роторными или щековыми дробилками по параметрам не соответствуют условиям крупных железорудных карьеров. Опыт работы различных типов дробилок показывает, что наивысшей производительностью, надежностью, способностью перерабатывать руды любой крепости обладают конусные дробилки крупного дробления, которые до настоящего времени применялись только в стационарных условиях. Повышение эффективности циклично-поточной технологии на карьерах может быть достигнуто в результате рационального применения конусных дробилок крупного дробления.

Для заданных условий выбрана конусная дробилка ККД1500/180 с пластинчатым питателем ПС-24*60 [3].

Поточное производство вследствие высокой специализации,

механизации и четкой организации производственного процесса является наиболее эффективным.

В сочетании с широким применением специализированного оборудования, комплексной механизацией и автоматизацией ручных работ по-

точные методы обеспечивают повышение производительности труда, увеличение выпуска, улучшение качества и снижение себестоимости продукции. В настоящее время на предприятиях, применяющих поточные методы, производится основная масса промышленной продукции.

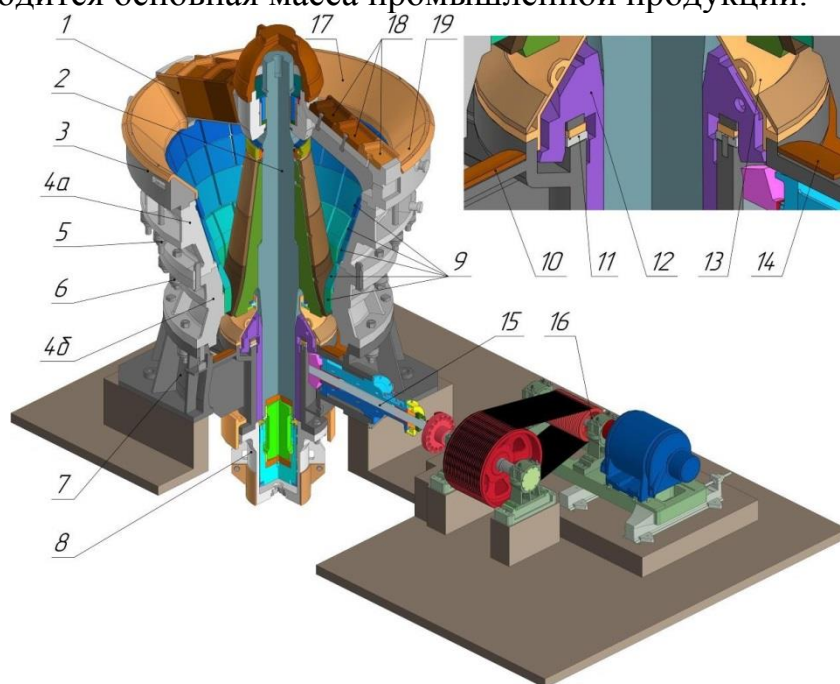


Рис. 3 – Конусная дробилка ККД-1500

1 – траверза; 2 – конус дробящий; 3 – балка; 4 – чаша дробильная (4а – верхнее кольцо, 4б – нижнее кольцо); 5 – шпильки/гайка М115×6; 6 – гидродомкрат вытяжной («гидрогайка»); 7 – станина; 8 – цилиндр гидравлический; 9 – брони дробильной чаши; 10 – балка-рассекатель; 11 – подпятник эксцентрика; 12 – эксцентрик; 13 – патрубок противопылевого уплотнения; 14 – броня балки-рассекателя; 15 – вал приводной; 16 – привод; 17, 18, 19 – комплекс броней загрузочного отверстия

Список литературы

1. Лагунова Ю.А. Проектирование обогатительных машин. Учебник. Екатеринбург: Изд. УГГУ, 2009. – 378 с.
2. Лагунова Ю.А., Жиганов П.А. Оценка влияния дробильно-перегрузочных агрегатов на поточность разработки карьеров // Горное оборудование и электромеханика. - № 6. – 2009. – С. 46-49
3. Фурин В.О., Федулов К.А., Лагунова Ю.А. Конусные дробилки ПАО «Уралмашзавод» для конкретных условий эксплуатации // Горное оборудование и электромеханика, 2018, № 1. – С. 27-33.

УДК 622.685

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОТРАНСПОРТА ХВОСТОВ НА ОА «ЕВРАЗ КГОК»

Ю.А. Катаева¹, инженер, Л.А. Гаврилова², доцент, к.т.н.

¹АО «ЕВРАЗ Качканарский ГОК», г. Качканар, РФ,

²Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, РФ

В статье проанализированы конструктивные и компоновочные решения по техническому перевооружению системы гидротранспорта хвостов для дальнейшей оптимизации работы хвостохранилища. Обоснованы требования к модернизации насосного оборудования. Приведены критерии выбора центробежного шламового насоса.

Ключевые слова: центробежный шламовый насос, хвостохранилище, гидротранспорт хвостов.

WAYS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF HYDRAULIC TRANSPORT OF TAILS AT THE OA «EVRAZ KGOK»

Yu.A. Kataeva, L.A. Gavrilova

The article analyzes the design and layout solutions for the technical re-equipment of the tailings hydraulic transport system for further optimization of the tailings operation. The requirements for the modernization of pumping equipment are justified. The criteria for choosing a centrifugal slurry pump are given.

Keywords: centrifugal slurry pump, tailings storage, hydraulic transport of tailings.

АО «ЕВРАЗ КГОК» входит в пятерку крупнейших в России горно-рудных предприятий.

Уже много лет комбинат ищет оптимальные безопасные решения для продления срока службы хвостохранилища. Его бесперебойная работа – это залог деятельности всего комбината, а значит, и жизни моногорода Качканар.

На настоящий момент для развития комбината представлены два инвестиционных проекта, которые находятся в стадии реализации и направлены на наращивание мощностей Качканарского ГОКа [1]. Первым является проект по поддержанию мощностей системы гидротранспорта. Это первая стадия реконструкции, после которой можно было приступить ко второму этапу, заключающемуся в наращивании мощностей. Наращивание мощностей касается энергетической стороны и установки дополнительного насосного оборудования. Этот процесс неизбежный, т.к. комбинат уже сегодня испытывает недостаток мощности по гидротранспорту. С ежегодным ростом хвостохранилища этот дефицит увеличивается.

Основные работы первого этапа инвестиций заключаются в техническом переоснащении действующей инфраструктуры. Проведена работа с подстанциями, устанавливается частотное регулирование электрических приводов насосного оборудования и локальная автоматическая система управления насосным парком.

Первый этап предусматривает замену существующих насосов и установку двух дополнительных насосов.

Схема обогащения Гусевогорского месторождения (рис. 1) включает в себя следующие циклы: цикл рудоподготовки, цикл складирования, цикл сухой магнитной сепарации, цикл сортировки, цикл измельчения и мокрой магнитной сепарации, цикл обезвоживания.

В первой стадии мокрой магнитной сепарации (ММС) выделяется основная масса хвостов (70-75 % от общего количества), процесс осуществляется на сепараторах ПБМ 90/250П и ПБМ150/200П.

ММС второй стадии служит для удаления зерен пустой породы, вскрытых в процессе второй стадии измельчения. Выход хвостов составляет 15-20 % от общего количества.

Выход хвостов третьей стадии ММС составляет 3-5 % от общего их количества.

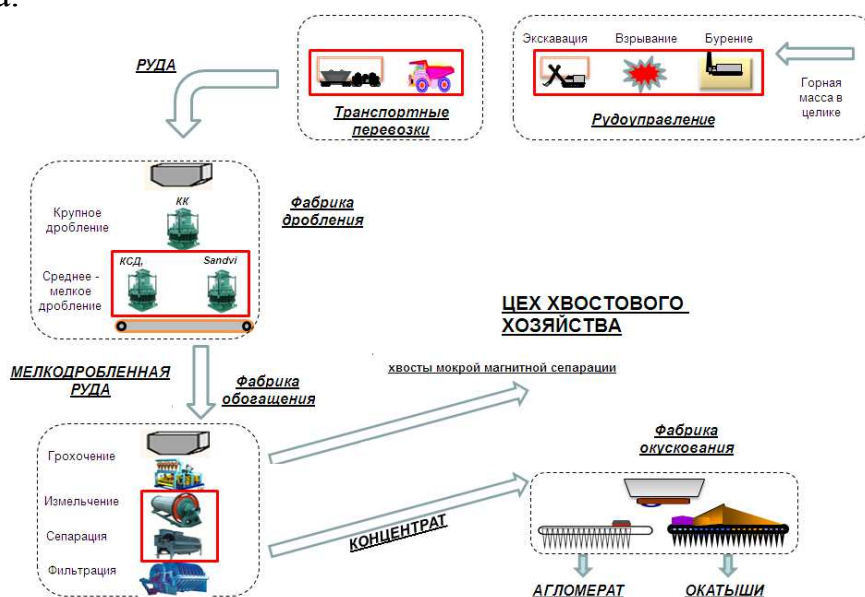


Рис. 1 Схема обогащения

Особенностью схемы является наличие операции размагничивания, ввиду наличия основных магнитно-жестких минералов. Недостатком схемы является то, что процесс регулируется по наличию общего железа, когда нужно регулировать процесс по магнитному железу и чистому магнетиту.

Хвосты после мокрой магнитной сепарации направляются по самотечным желобам в подземных тоннелях до пульпонасосной станции, из которой напорным гидротранспортом перекачиваются в хвостохранилище, удаленное от фабрики на расстояние 1,5-2 км.

В связи с расширением производства и продлением срока эксплуатации, площадь и объем хвостохранилища были увеличены за счет создания нового, Промежуточного отсека.

Наращивание хвостохранилища осуществляется возведением дамб обвалования из хвостов пляжа высотой ~3 м и последующей перекладкой распределительного пульповода на новые отметки.

Основной задачей эксплуатации хвостохранилища с отсыпаемыми дамбами обвалования, переключением пульповодов и намывом хвостов является равномерное их распределение по длине пульповода с обеспечением самотечного опорожнения труб при переключении на другие пульповоды.

Реализация технологической схемы гидротранспорта хвостов с возможностью ведения намывных работ по всему периметру ограждающих дамб хвостохранилища до 2022 года включительно потребовала технического перевооружения существующих пульпонасосных станций первого, второго и третьего подъемов, перекладки ряда существующих пульповодов и укладки участка новых толстостенных труб пульповодов.

Для реализации ряда проектов по хвостохранилищу возникла необходимость полной замены существующих насосов.

Существует большое количество различных типов насосов, способных перекачивать шламы, начиная от поршневых и диафрагменных насосов, заканчивая эдукторами Вентури. Однако наибольшее применение имеют центробежные шламовые насосы, которые преобразуют центробежную силу, создаваемую вращающимся импеллером, в энергию движения шлама, по тому же принципу как и насосы, перекачивающие чистую воду. На этом подобия заканчиваются. Шламовые центробежные насосы требуют точного выбора размера импеллера и его геометрии, его ремонтнопригодности, типа уплотнения вала, выбора оптимальных материалов деталей. Это необходимо, чтобы противостоять износу, возникающему из-за абразивного, эрозийного и коррозионного воздействия шлама. И это только малая часть процесса выбора насоса.

Шламовые насосы широко используются в горнодобывающей и горноперерабатывающей промышленности, а также в золоудалении теплоэлектростанций. Они также широко применяются в производстве удобрений, мелиорации земель, дражных работах, транспортировке на длинные расстояния угля и минерального сырья.

Центробежный шламовый насос должен быть выбран с точки зрения способности прокачивать частицы максимального размера. Например, шламовый насос Warman самого большого размера может прокачать частицы диаметром 530 мм. По этой причине, импеллеры шламовых насосов должны быть шире и тяжелее. А также, должны быть изготовлены из специальных износостойких материалов. Обычно шламовые насосы больше аналогичных насосов для чистой воды по размеру. Это необходимо для уменьшения рабочей скорости, а, следовательно, для уменьшения износа. Подшипники и валы также должны быть более твердыми и жесткими.

Модернизация конструкции насосов направлена на снижение металлоемкости при одних и тех же параметрах насосов, обеспечение наибольшей унификации узлов и деталей насосов, что позволяет расширять номенклатуру насосов без существенных дополнительных затрат на их производство. Большое внимание уделяется повышению качества и

надежности насосов, что позволяет экономить энергетические ресурсы и снижать трудоемкость их эксплуатации и ремонта.

В результате реализации первого этапа модернизации технологического процесса обогащения Качканарского ГОКа определены основные параметры для гидротранспорта при увеличении мощностей комбината, выбрано насосное оборудование (рис.2).

Схема гидротранспорта хвостов КГОК 2022 год (в работе 29 насосов)

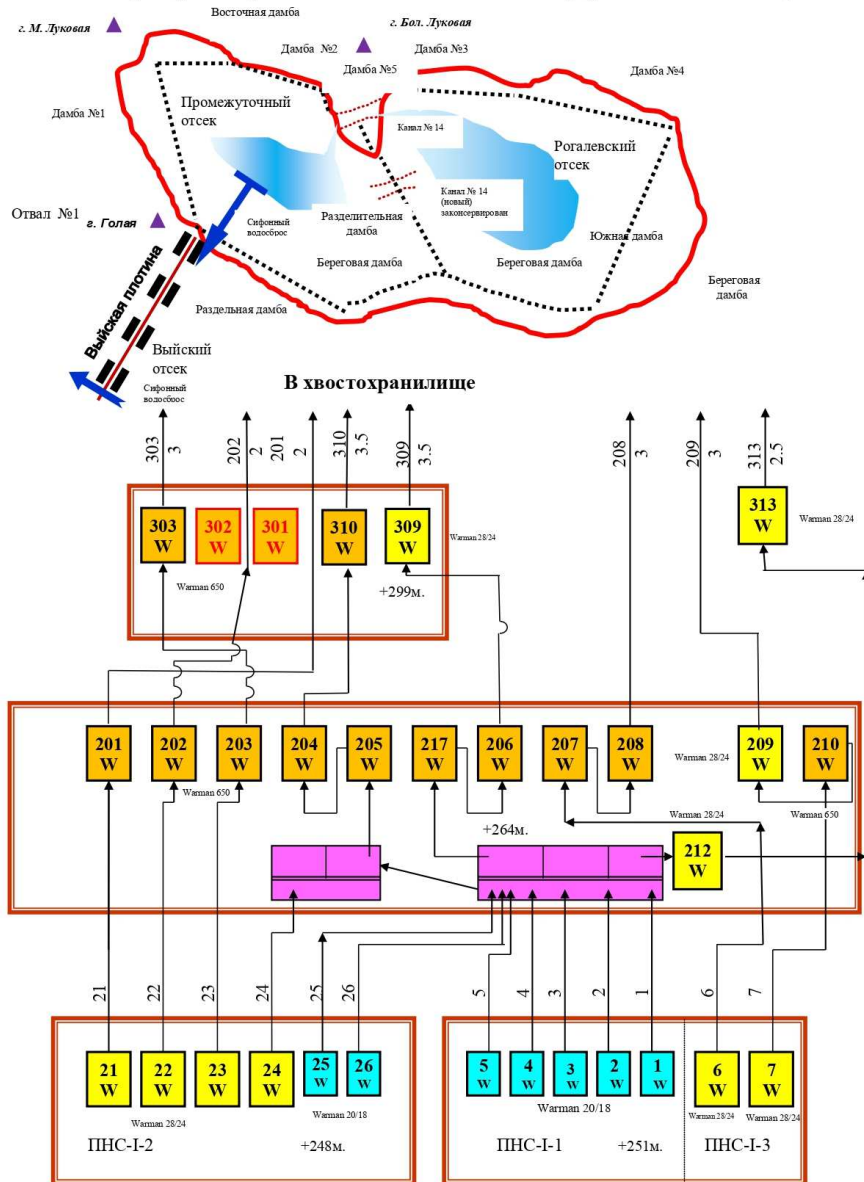


Рис. 2 Существующая схема гидротранспорта хвостов Качканарского ГОКа

Учитывая все более возрастающие природоохранные и энергосберегающие требования по всему миру, количество применений шламовых насосов в будущем будет только возрастать.

Список литературы

1. Проект эксплуатации хвостохранилища ЕВРАЗ КГОК на 2018-2022 г.г.- АО «МЕХАНОБР ИНЖИНИРИНГ», 2018 г-128 с.

УДК 622.788.36

ПРОГРАММА ДЛЯ РАСЧЁТА ПАРАМЕТРОВ И ПРИВОДА ЧАШЕВОГО ОКОМКОВАТЕЛЯ

А.Н. Купин¹, магистрант, Ю.А. Лагунова^{1,2}, профессор, д.т.н,

¹Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, РФ

²«УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, РФ

Разработана автоматизированная программа для расчёта привода чашевого окомкователя при его проектировании/модернизации/замене в зависимости от технологических параметров работы, определены режимы нагружения, мощность привода

Ключевые слова. Расчет, чашевый окомкователь, режимы нагружения, мощность привода

PROGRAM FOR CALCULATION OF PARAMETERS AND DRIVE OF BOWL PELLETIZER

A.N. Kupin, Yu.A. Lagunova

An automated program has been developed for calculating the drive of a bowl pelletizer during its design/modernization/replacement, depending on the technological parameters of operation, loading modes and drive power have been determined.

Keywords. Calculation, bowl pelletizer, loading conditions, drive power

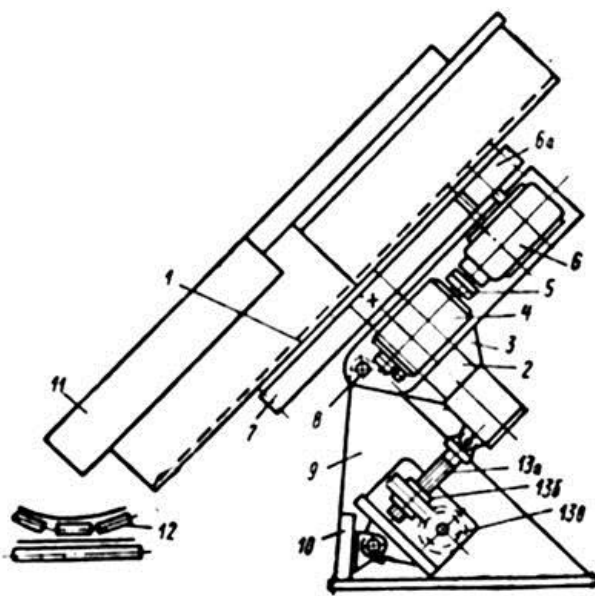
Чашевый окомкователь (рис.1.) состоит из чаши, расположенной под необходимым из технологических условий углом, механизма ее вращения и наклона, опоры. Во вращающуюся чашу непрерывно подается на открытую часть днища шихта, которая смачивается распыляемой (форсунками) водой и превращается в круглые тела - окатыши. По мере перемещения в чаше окатыши увеличиваются в диаметре, пересыпаются через, борт чаши в разгрузочный лоток и из него поступают на уборочный ленточный конвейер. Полученные сырые окатыши обжигают на конвейерных обжиговых машинах или в других агрегатах. Обжиговые машины конвейерного типа имеют много общего с конвейерными агломерационными машинами. Обжиг окатышей производится в тележках (налетах), составляющих бесконечную ленту. Характерной технологической особенностью чашевого окомкователя является создание организованного движения материала, при котором мелкие фракции и крупные окатыши движутся по разным траекториям, благодаря чему происходит разделение по крупности и выдача из окомкователя лишь окатышей определенного размера, т.е. классифицированного по крупности продукта. Крупные частицы поднимаются на меньшую высоту, а более мелкие - на большую.

Применение чашевых окомкователей на тех фабриках, где это приемлемо по технологии, позволяет уменьшить количество оборудования в технологической линии, нагрузки на опорные конструкции здания, а также грузоподъемность обслуживающих кранов.

Чашевые окомкователи по сравнению с барабанными имеют более высокую удельную производительность (2...3 т/м² в час).[1].

На сегодняшний день крупнейшими производствами окатышей в России и СНГ являются:

- Лебединский окатыш — Лебединский ГОК — единственный в России и СНГ производитель ГБЖ
- Качканарский окатыш
- Карельский окатыш
- Окатыши Михайловского ГОКа



*Рис. 1. Механизмы вращения и наклона чаши чашевого гранулятора
1 – чаша; 2 – вращающаяся ось; 3 – опора; 4 – электродвигатель постоянного тока; 5 – муфта; 6 – коническо-цилиндрический редуктор; 6а – шестерня; 7 – зубчатый венец; 8 – валики; 9 – две стойки; 10 – поперечная балка; 11 – лоток; 12 – конвейер; 13 а – тяга-винт; 13 б – тяга винтовая пара; 13 в – червячная передача*

Расчётами параметров необходимых для технологического процесса производства окатышей, посвящены работы Ш. Маерчак, И.Е. Ручкин, Ю.С. Юсфин, С.В. Базилевич, Е.Ф. Вегман.

Задавая различные параметры чашевого окомкователя и параметры, входящие в технологический процесс, можно с помощью программы Excel в короткий срок подобрать необходимые оптимальные значения. Программа позволяет определить: общий момент необходимый для вращения чаши, момент сопротивления от срезания гарнисажа на днище и бортах чаши, приближённый вес материала, находящегося на чаше, координаты центра тяжести объема, занятого материалом, момент от смещения материала относительно оси чаши, мощность электродвигателя механизма вращения чашевого окомкователя.

Целесообразно использовать компьютерные программы, которые значительно упрощают и сокращают время на расчётные процедуры.

Разработанная нами программа проверяется в составе общей модели получения математического описания процесса окомковывания.

Алгоритм описанной программы представлен на рисунке 2.



Рис. 2. Алгоритм программы расчёта параметров чашевого окомкователя

Также на начальном этапе находится разработка «подпрограммы» для нахождения эмпирического соотношения угла наклона чаши и скорости её вращения, используя формулу С. В. Базилевича.

$$\frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos \varphi} = kn^2 D \quad (1)$$

где α - угол наклона днища чаши к горизонту; φ - угол естественного откоса неокомкованной шихты; n – скорость вращения чаши; D - внутренний диаметр борта чаши; k - коэффициент, определяемый для каждого материала опытным путем и характеризует способность материала к окомкованию.

Алгоритм описанной программы представлен на рисунке №3.

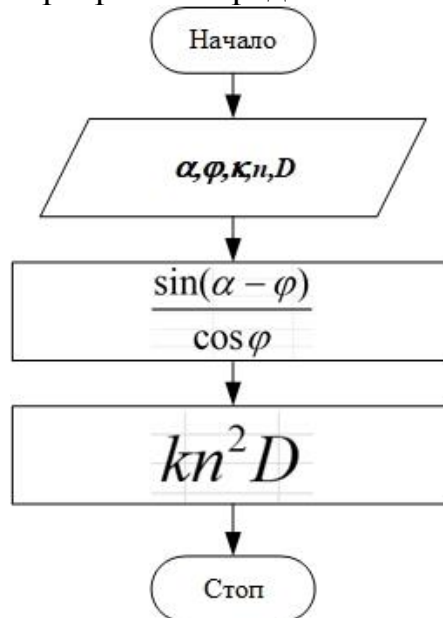


Рис. 3. Механизмы вращения и наклона чаши чашевого окомкователя

Дальнейшим этапом подпрограммы будет нахождение оптимальных параметров при необходимости изменения условий работы чашевого окомкователя.

Такая программа поможет при проектировании технологических линий производства окатышей, в которых планируется использовать чашевые окомкователи.

Список литературы

1. Расчёт металлургических машин и механизмов / Гребеник В.М., Иванченко Ф.К., Ширяев В.И., – К.: ,1988г., 448с., 224 ил., 71 табл.;
2. Обжиг железнорудных окатышей / Юсфин Ю.С, Базилевич Т.Н. М., «Металлургия», 1973г., 272с., 117 ил., 61 табл.;
3. Агломерация / С. В. Базилевич, Е. Ф. Вегман. - Москва: Metallurgy, 1967. - 368 с.: ил.

УДК 622.621.73

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРОБИМОГО МАТЕРИАЛА НА ПРИМЕРЕ КОКСА

Ю.А.Пожидаев¹, к.т.н., В.Я.Потапов², проф., В.В.Потапов², доц., П.В.Трутьев², асс.
¹ООО «Научная инжиниринговая компания «Адаптивная механика», г. Магнитогорск,
²Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

Рассмотрены вопросы дробимости каменноугольного кокса с учетом физико-механических свойств, таких как влажность, плотность, пористость, водонасыщение, крепость, разрыхление, предел прочности на сжатие. Исследования проводились по методикам ГОСТ. Исследуемые образцы имели форму куба. Испытания проводились на гидравлическом прессе. При обработке результатов эксперимента использовались стандартные формулы. Результаты эксперимента представлены графическими зависимостями.

Ключевые слова: дробимость, каменноугольное сырье, физико-механические характеристики, графические зависимости, уравнения регрессии.

INVESTIGATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CRUSHED MATERIAL ON THE EXAMPLE OF COKE

Yu.A. Pozhidaev, V.Ya. Potapov, V.V. Potapov, P.V. Trut'ev

Deals with the issues of crushing coal coke, taking into account the physical and mechanical properties. Which were used as humidity, sample density, porosity, water saturation coefficient, strength coefficient, loosening coefficient, compressive strength. The studies were conducted according to the methods of GOST. The studied samples had the shape of a cube. The tests were carried out on a hydraulic press. Standard formulas were used when processing the results of the experiment. The results of the experiment are represented by graphical dependencies.

Keywords: crushing capacity, coal raw materials, physical and mechanical characteristics, graphical dependencies, regression equations.

Каменноугольный кокс является специализированным сырьём, предназначенным для металлургии в качестве топлива. В агломерационном производстве требуется дробленый кокс и коксовая мелочь [1, 2, 3, 4, 5]. При обзоре источников информации о свойствах кокса не хватает данных, характеризующих его физические и механические свойства, необходимые при постановке динамической задачи [6, 4, 7]. Это объясняется тем, что кокс рассматривают в первую очередь как топливо, т.е. ранее исследовали в основном его физико-химические свойства [8].

Существует метод определения прочности каменноугольного кокса по ГОСТ 8929–75, однако стандартная методика не подходит для полной оценки механических свойств кокса.

Для проведения серии экспериментов, направленных на изучение свойств дробимого материала, были взяты пятнадцать точечных проб кокса по ГОСТ 23083–78, масса каждой пробы составляет 7,5 кг. Отбор проб осуществляли вручную при помощи вил с расстоянием между рожками 10 мм. Каждое мероприятие по отбору проб проводили в бункерном помещении агломерационного цеха ОАО «ММК». С целью взятия пробы принудительно останавливали ленточный конвейер из бункерного помещения в отделение подготовки топлива. Период отбора проб составляет 10 суток.

Предварительно был проведён статистический анализ пробы для лабораторных исследований, в ходе которого выявлено, что максимальный линейный размер куска кокса может составлять 80 мм, а косвенный размер, полученный усреднением трёх взаимно перпендикулярных измерений, – 65 мм. Количество образцов, измеренных в представленной пробе, – 243 шт., каждый из которых был взвешен и охарактеризован косвенным размером.

Для проведения лабораторных исследований в ЗАО «МАГГЕОЭКСПЕРТ» была предоставлена объединённая проба, сокращённая до 10 кг. Основные показатели, характеризующие свойства кокса, сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Усреднённые показатели, характеризующие свойства кокса

Показатель	Значение
Влажность, %	0,25
Плотность пробы, г/см ³	1,060
Плотность измельчённого кокса, г/см ³	1,650
Пористость, %	36
Максимальный размер поры, мм	2
Средний размер пор, мм	0,5
Коэффициент пористости	0,56
Коэффициент водонасыщения	0,01
Коэффициент крепости	1
Коэффициент разрыхления (5-10)	2,16
Предел прочности на сжатие, МПа	10,5

Коэффициент разрыхления характеризует степень разрыхления пород и показывает, во сколько раз объём разрыхленной породы больше объёма, занимаемого ею в массиве.

Исследования характеристик трещиностойкости образцов кокса проводили совместно со специалистами ЗАО «МАГГЕОЭКСПЕРТ», поскольку требовалась предварительная обработка образцов, а также разработка технологии проведения эксперимента в соответствии с ГОСТ 29167-91.

Метод определения характеристик трещиностойкости был определён по ГОСТ 29167-91. В связи с тем, что кокс кусковатый – хрупкий материал, то целесообразнее проводить испытания на сжатие. Принимая во внимание сложности при обрабатывании резанием кокса, выбран наиболее подходящий тип образца – куб. Схема испытаний и форма образца показаны на рис. 1.

Были изготовлены образцы следующих типоразмеров: 1) 50×50×50 мм; 2) 40×40×40 мм; 3) 30×30×30 мм; 4) 25×25×25 мм. Комплект образцов для испытаний включал в себя 20 образцов по 5 штук каждого типоразмера. Фото одного из образцов показано на рис. 2.

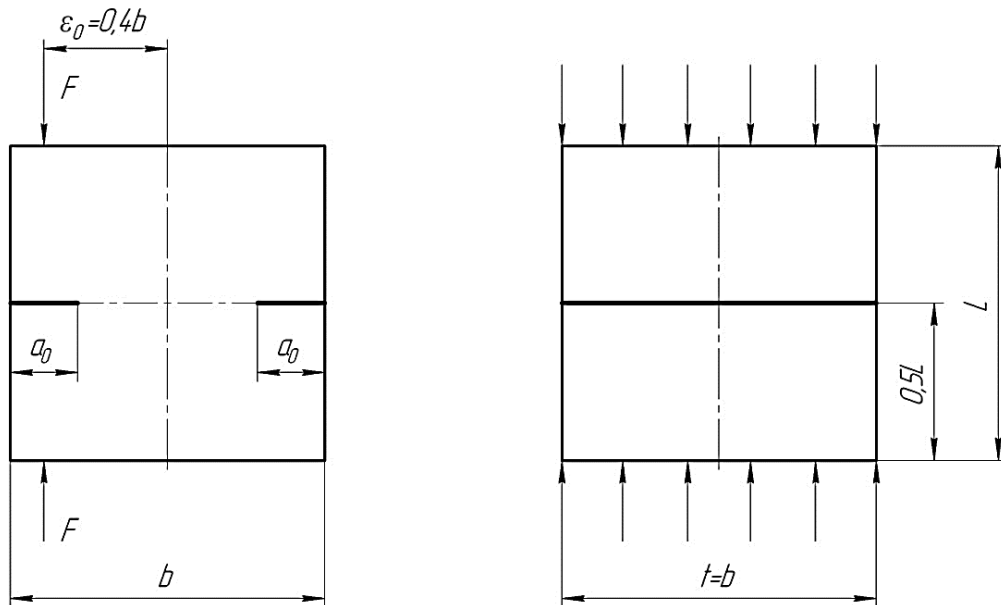


Рисунок 1 – Эскиз образца для испытаний на внецентренное сжатие

Испытания на внецентренное сжатие проводили на гидравлическом прессе ПГМ-1000МГ4 (рис. 3). Усилие сжатия каждого образца фиксировали при постоянной скорости нагружения до его разделения на части.



Рис. 2. Образец размером 30x30x30 мм для испытания на внецентренное сжатие с целью выявления трещиностойкости



Рис. 3. Установка образца для испытания на внецентренное сжатие в гидравлический пресс ПГМ-1000МГ4

При обработке результатов трещиностойкость K_{Ic} определяли по усилию F_c , которому соответствует динамическое начало движения магистральной трещины при неравновесных испытаниях, а критический коэффициент интенсивности напряжений по выражению/

$$K_{Ic} = \frac{F_c}{b^{1/2}t} (1,83\lambda^{1/2} - 430\lambda^{3/2} + 3445\lambda^{5/2} - 11076\lambda^{7/2} + 12967\lambda^{9/2}),$$

где b – ширина образца, мм; t – длина образца, мм; $\lambda = (a_0 + a_{01})/b$ – относительная длина начального надреза. Значения коэффициента интенсивности напряжений K_{Ic} усреднены для каждого типоразмера испытываемых образцов и представлены графически (рис. 4).

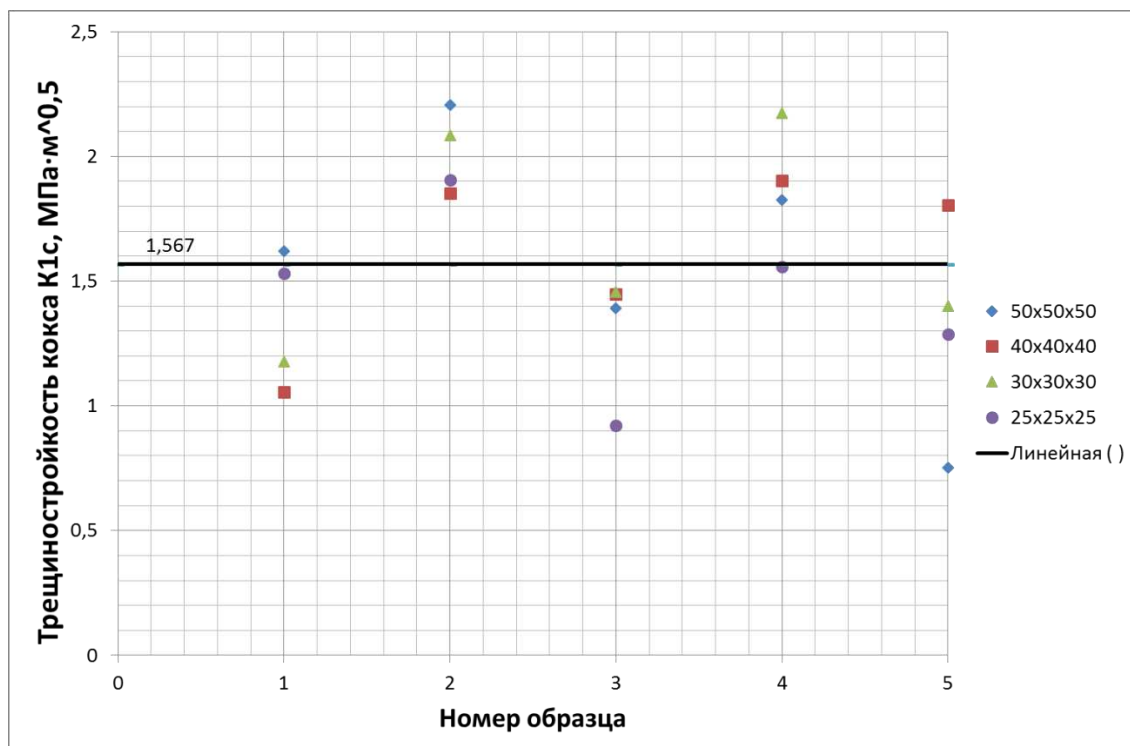


Рис. 4– Трещиностойкость образцов кокса разных типоразмеров

По визуальной оценке результатов испытаний при определении трещиностойкости кокса видно, что исследуемая величина не зависит от размера образца, т.е. эффект масштаба отсутствует. Исходя из этих соображений, было принято решение усреднить предел трещиностойкости среди испытанных образцов разных типоразмеров, который составил $1,567 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{0,5}$, или $49,55 \text{ Н/мм}^{1,5}$.

Следующая переменная величина – это коэффициент жёсткости кокса c_M . По условию задачи динамики обрабатываемый материал был представлен упругой пружиной, а не хрупким куском породы, как есть на самом деле, что вызвало необходимость в экспериментальном исследовании по определению зависимости коэффициента жёсткости кокса от степени сжатия в процессе осаживания образцов. Необходимо было установить закономерность силового нагружения в процессе осаживания образцов кокса до требуемого линейного размера (10 мм) по технологической инструкции к дробилке.

Испытания проходили на том же оборудовании и в тех же условиях, где определяли средний предел трещиностойкости кокса. Для данных исследований были изготовлены образцы следующих типоразмеров:

1) $25 \times 25 \times 50$ мм; 2) $25 \times 25 \times 40$ мм; 3) $25 \times 25 \times 30$ мм; 4) $25 \times 25 \times 25$ мм. Комплект образцов для испытаний включал в себя 20 образцов по 5 штук каждого типоразмера (рис. 5).



Рис. 5. Фото образцов для осаживания

Осаживание каждого образца проводили до высоты 10 мм, что равно требуемому размеру куска кокса после первой стадии дробления. Фиксировали усилие при осаживании на каждые 10% высоты образца. Результаты испытаний представлены графически (рисунок 4.8).

Полученные экспериментальные данные усреднены и линеаризованы с тем допущением, что упругая деформация слишком мала (1-3% [41]). Выражение линеаризованной зависимости (верхний правый угол рис. 6) отражает коэффициент жёсткости материала c_M при масштабировании выражения на соответствующую площадь поперечного сечения, вычисляемого путём перемножения размера куска d , захваченного между валками, на его длину b .

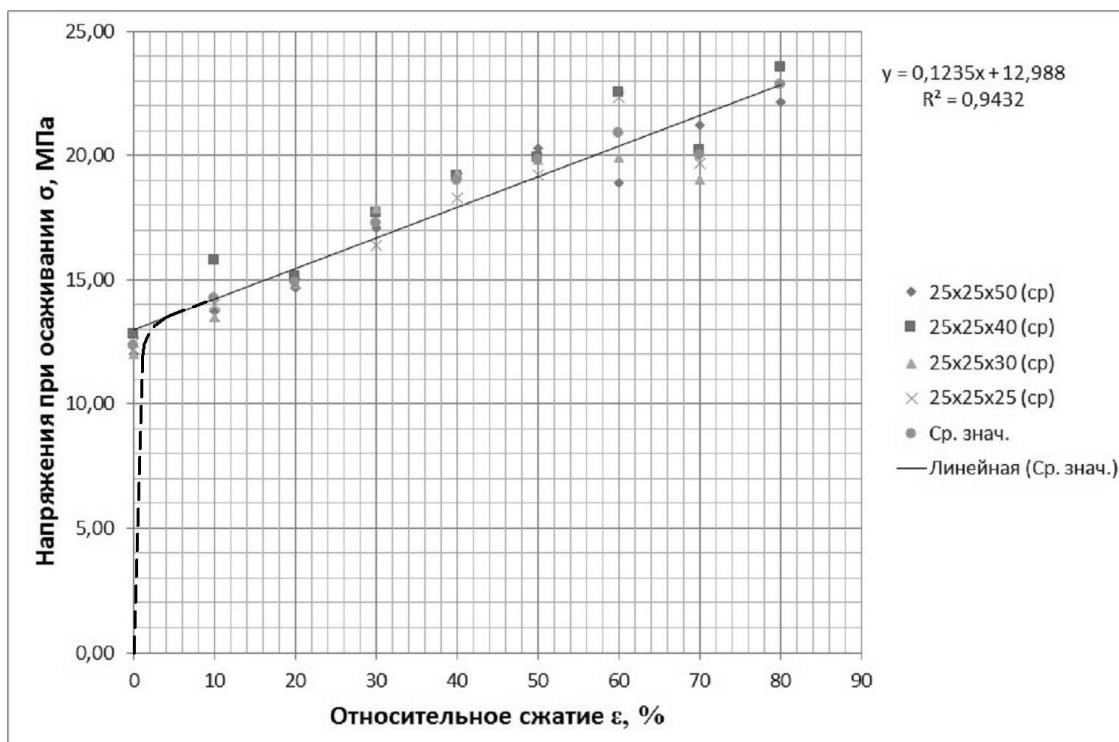


Рис. 6 Усреднённая экспериментальная кривая напряжения при осаживании образцов кокса разной высоты

С другой стороны, реальное усилие, оказываемое на валки при сжатии и последующем разрушении, можно оценить через коэффициент жёсткости c_M , т.е. $P=c_M(\varepsilon)$, где ε – относительное сжатие порции материала, что есть степень дробления; $c_M(\varepsilon)$ – масштабированная функция $\sigma(\varepsilon)$ (см. рисунок 4.8) в зависимости от порции V и размера куска материала d . Это позволяет перейти непосредственно к выбору режимов эксплуатации дробилки.

Выводы. Проведены экспериментальные исследования по определению механических и физических свойств дробимого материала на примере кокса. По итогам опытов определены численные значения его трещиностойкости ($1,567 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{0,5}$) и предела прочности (12,99 МПа), что в параметрических выражениях характеризует реальный процесс дробления.

Список литературы

- 1). Мирко В. А., Кабанов Ю. А., Хлевный И. А. и Татаркин Н. Л. Промышленное применение рекомендаций по измельчению топлива, используемого при агломерации // Сталь. 1998. - №7. - С. 7-12.
- 2) Пат. 2114697 РФ, В02С4/08, Способ дробления твердого топлива для агломерации и устройство для его осуществления/ Хомунов Э.А.; Малыгин А.В. И [др.] // Заявл. 10.12.1996. № 96123322/03.– Оpubл.
- 3). Петрушов С. Н., Босый В. Л., Капуста А. И., Полосухин А. П. Совершенствование технологии подготовки агломерационного топлива // Metallurg. – 1982. – №5.– С.9-10.
- 4). Пожидаев Ю.А. Методы оценки прочности кокса / Ю.А. Пожидаев, Е.П. Кашапова, Е.Б. Пожидаева и др. // Кокс и химия.–2015.– №10.– С. 19-25.
- 5) Пожидаев Ю.А., Салов И.А. Способ определения механических характеристик хрупких материалов при дроблении // Механическое оборудование металлургических заводов. 2014. № 3. С. 102-105.
- 6) Надёжность валковых дробилок и их модернизация: Научная монография / Ю.А. Пожидаев, В.Я. Потапов, А.И. Афанасьев, В.И. Кадошников. – М., 2016. – 133 с. – Деп. в «Издательский Дом РАЕН» 30.11.16, № 1004.
- 7). Пожидаев Ю.А., Салов И.А. Способ определения механических характеристик хрупких материалов при дроблении // Механическое оборудование металлургических заводов. 2014. № 3. С. 102-105.
- 8). Гзогян Т. Н., Губин С. Л. Совершенствование технологии дробления руд на Михайловском ГОКе / На предприятиях и в институтах. Подготовка сырьевых материалов к металлургическому переделу // Черная металлургия: Бюллетень научно-технической и экономической информации.– 2002. – № 7. – С. 25-26 .

УДК 622.238

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСБЕСТОСОДЕРЖАЩИХ ПРОДУКТОВ

В.Я. Потапов, проф., **В.В. Потапов**, доц., **Р.В. Соколов**, асс.,
П.В. Трутьев асс., **Н. И. Кожухов**, асс.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ

Методика измерения теплопроводности асбеста и вмещающих пород практически отсутствует, а в известных работах, по исследованию теплофизических характеристик приведено недостаточно данных для разработки методов и средств контроля содержания асбеста для организации технологического процесса.

Ключевые слова: теплофизические характеристики и свойства асбеста, тепловая энергия, теплопроводность, метод звуковой локации, асбестосодержащие руды, удельная теплоемкость, идентификации асбестосодержащих пород.

THE USE OF THERMOPHYSICAL CHARACTERISTICS OF ASBESTOS-CONTAINING PRODUCTS FOR THE DEVELOPMENT OF METHODS AND MEANS OF CONTENT CONTROL

V.Ya. Potapov, V.V. Potapov, R.V. Sokolov, P. V. Trut'ev, N. I. Kozhuhov

The method of measuring the thermal conductivity of asbestos and host rocks is practically absent, and in well-known works on the study of thermophysical characteristics, insufficient data is given for the development of methods and means of controlling the content of asbestos for the organization of the technological process.

Keywords: hermophysical characteristics and properties of asbestos, thermal energy, thermal conductivity, sound location method, asbestos-containing ores, specific heat capacity, identification of asbestos-containing rocks.

В известных работах по исследованию теплофизических характеристик асбеста и серпентинита [1] и использования их в целях разделения асбестовых руд [2,3] приведено недостаточно данных для разработки методов и средств контроля содержания асбеста для предварительного обогащения. Это вызвало необходимость детального изучения теплофизических свойств асбеста и вмещающих пород.

В большинстве горных пород перенос тепловой энергии происходит за счет механизма теплопроводности, т.е. распределения тепла осуществляется передачей энергии упругими колебаниями кристаллической решетки породы.

Методика измерения теплопроводности асбеста и вмещающих пород практически отсутствует, но характер распространения тепловых волн аналогичен распространению звуковых волн. В физике горных пород принята закономерность, что звуковые волны имеют такую же природу распространения в образце, что и тепловые. Поэтому для измерения и прогноза теплопроводности использовался метод звуковой локации.

При измерении скорости упругих волн был использован прибор УДМ-1М, с помощью которого определили время прохождения упругих волн через образец (рис. 1).

Таблица 1

Определение скорости прохождения упругой волны через различные виды образцов асбеста и вмещающих пород

Образец	Длина образца, м	Время прохождения упругой волны, 10^{-6} с	Скорость упругой волны, м/с
Серпентинит	0,036	8,65	4161,84
Серпентинит с мелковкрапленным асбестом	0,0387	7,7	5025,97
Дунит	0,0362	7,9	4582,28
Серпентинит с дунитом	0,0395	7,8	5064,1
Серпентинит с перидотитом	0,0372	8,45	4402,37
Асбест ожелезненный вдоль волокон	0,051	10,6	4811,32
Асбест ожелезненный поперек волокон	0,0418	58,3	716,98
Асбест без железа вдоль волокон	0,0474	10,9	4348,62
Асбест без железа поперек волокон	0,0377	60,5	623,14

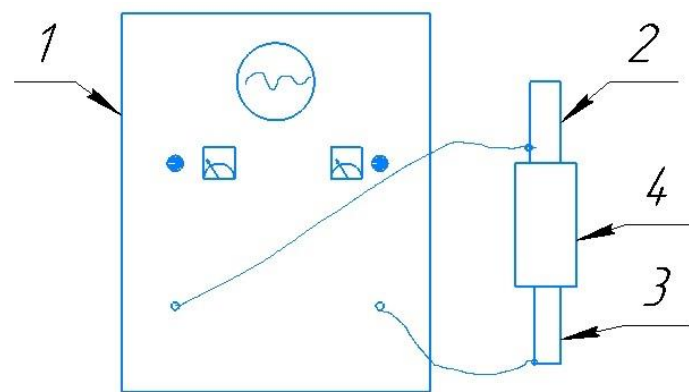


Рис. 1 - Измерение скорости упругих волн
1-УДМ-1М, 2-излучатель, 3-приемник, 4-образец.

Скорость упругих волн вычисляют по формуле:

$$V = \frac{l}{t - t_n}, \quad (1)$$

где l - длина испытываемого образца, м; t - время прохождения упругой волны через образец, с; t_n - время задержки прибора, с.

Результаты измерений приведены в табл.1.

В результате проведенного эксперимента видно, что асбест по-разному проводит звуковые волны. Так как структура асбеста волокнистая, то скорость распространения упругих волн вдоль волокон значительно больше скорости распространения волн поперек волокон. Из этого следует, что теплопроводность асбеста вдоль волокон больше, чем поперек. В тоже время теплопроводность вмещающих пород незначительно отличается от теплопроводности асбеста вдоль волокон. Эта закономерность затрудняет

применение такого теплофизического свойства как теплопроводность в предварительном обогащении асбестосодержащих руд.

Для измерения удельной теплоемкости асбеста и вмещающих пород воспользуемся калориметрическим методом. Для этого образцы подвергались нагреву в термопечи до температуры 200 °С. Затем проводилось охлаждение каждого образца в сосуде с водой, где была известна масса и температура воды до погружения нагретого образца. Схема установки на рис.2.

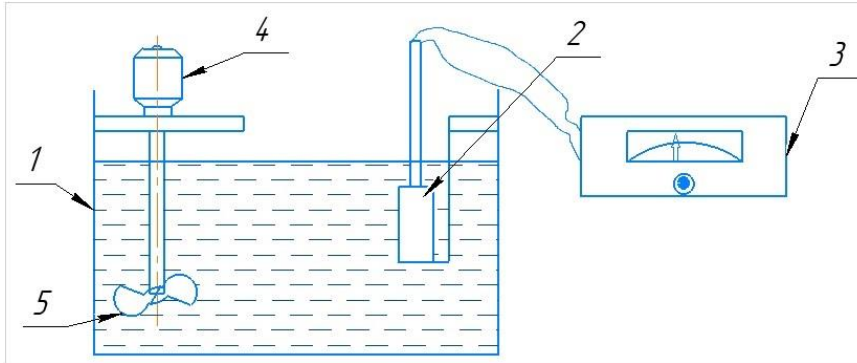


Рис. 2 - Измерение объемного коэффициента температуропроводности
1 – сосуд с водой, 2 – образец, 3 – милливольтметр, 4 – эл. двигатель, 5 – импеллер.

После полного охлаждения образца измерялись новые значения температуры воды. По снятым показаниям температуры проводились расчеты удельной теплоемкости образца по формуле:

$$c = \frac{c_B \cdot m_B \cdot (t_K - t_H)}{m_{ОБР} \cdot (200 - t_K)}, \quad (2)$$

где c_B - теплоемкость воды, Дж/(кг·К); m_B - масса воды, кг; t_K - конечная температура воды, °С; t_H - начальная температура воды, °С; $m_{ОБР}$ - масса образца, кг.

Результаты исследования приведены в табл. 2.

Из результатов определения удельной теплоемкости минералов видно, что асбест по своим параметрам отличается от вмещающих пород. Среднее значение удельной теплоемкости вмещающих пород составляет 1750 Дж/(кг·К), а асбеста - 940 Дж/(кг·К) показывает, что такой параметр как удельная теплоемкость может служить разделительным фактором при предварительном обогащении асбеста, но при условии технической реализации измерения теплоемкости в условиях действующих фабрик.

Температуропроводность a характеризует изменение температуры тела в единицу времени и фигурирует в уравнении теплопроводности :

$$\frac{dT}{dt} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right). \quad (3)$$

где T – температура, К; t – время, с; x, y, z – координаты пространства, м; a – коэффициент температуропроводности, м²/с.

Таблица 2

Результаты эксперимента по определению удельной теплоемкости асбеста и вмещающих пород

Образец	Масса образца, г	Температура воды начальная, °С	Температура воды конечная, °С	Удельная теплоемкость, Дж/град·г
Серпентинит	40	13,2	29,1	1,95
Серпентинит с мелкокрапленным асбестом	50	11,5	30,0	1,82
Серпентинит с дунином	55	13,8	32,1	1,66
Дунит	58	13,1	32,9	1,71
Серпентинит с перидотитом	51	26,6	41,2	1,61
Асбест ожелезненный	132	10,2	32,0	0,82
Асбест без железа	86	20,2	38,0	1,07

Измерение объемного коэффициента температуропроводности основано на том, что при нестационарном тепловом режиме наиболее равномерное распределение тепла в теле наблюдается в момент перехода его от нагрева к охлаждению и в момент, когда температура тела близка к температуре среды.

Температуру образца проще всего измерять с помощью термопары.

Для измерения температуропроводности образцы асбеста и вмещающих пород были подготовлены в виде параллелепипедов и цилиндров правильной формы, внутрь которых впаяна термопара. Термопара размещена в середине образца. Такое расположение обеспечивает максимальное усреднение значения температур для тел в форме параллелепипеда или цилиндра.

Испытание образцов осуществлялось в термостате с нагреванием образца в течение часа до температуры выше 30⁰. Затем поочередно образцы подвергались охлаждению в пульсирующей водной среде с температурой 15-20⁰.

Показания кинетики охлаждения образца регистрировались с помощью милливольтметра, подключенного к термопаре, за определенные промежутки времени до полного охлаждения образца.

Результаты экспериментов были обработаны на ЭВМ и сведены в табл. 3.

По данным опыта установлено, что коэффициенты температуропроводности асбеста и вмещающих пород отличаются незначительно. Поэтому коэффициент температуропроводности не может быть использован в качестве разделительного признака для задач предварительной концентрации руд. В то же время из данных эксперимента видно, что образцы, изго-

товленные из вмещающих пород, по темпу охлаждения значительно отличаются от образцов из чистого асбеста.

Таблица 3

Определение скорости прохождения упругой волны через различные виды образцов асбеста и вмещающих пород

Образец	Коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$	Коэффициент формы, $\text{м}^2/\text{с}$	Расчетный интервал времени, с	Расчетный интервал температуры, с
Серпентинит	$6,22 \cdot 10^{-7}$	$3,08 \cdot 10^{-5}$	20-100	70-27,5
Серпентинит с мелкокрапленным асбестом	$6,43 \cdot 10^{-7}$	$3,15 \cdot 10^{-5}$	30-100	71,25-30
Дунит	$6,66 \cdot 10^{-7}$	$3,45 \cdot 10^{-5}$	30-80	67,5-36,25
Серпентинит с дунитом	$6,06 \cdot 10^{-7}$	$3,18 \cdot 10^{-5}$	30-100	57,25-31,25
Серпентинит с перидотитом	$8,3 \cdot 10^{-7}$	$3,46 \cdot 10^{-5}$	30-70	57,5-32,5
Асбест ожелезненный	$5,47 \cdot 10^{-7}$	$5,9 \cdot 10^{-5}$	50-140	70-40
Асбест без железа	$4,29 \cdot 10^{-7}$	$4,84 \cdot 10^{-5}$	50-140	62,5-37,5

Данные испытаний показывают, что наибольшее различия в температуре асбеста и пород наблюдается при охлаждении в интервале времени от 60 до 180 секунд.

Таким образом, одним из способов идентификации асбестосодержащих пород может служить измерение кинетики нагрева и охлаждения образцов. Однако этот метод имеет недостаток. Он не позволяет идентифицировать асбест ожелезненный, что приведет к потере асбеста с хвостами предварительного обогащения. Кроме того, этот метод из-за необходимости относительно длительного нагрева и охлаждения кусков представляется малотехнологичным при сепарации.

Исследования теплофизических характеристик позволили установить, что есть существенное различие в этих свойствах у асбеста и вмещающих пород. Полученные теплофизические характеристики не могут быть использованы для задач предварительной концентрации руды, как достаточно эффективные признаки разделения асбестосодержащих продуктов, кроме того эти характеристики можно использовать для непрерывного контроля продуктов обогащения с целью оперативного управления процессом разделения в технологических разделительных аппаратах.

Список литературы

1. Фотоэлектронная сортировка, новый перспективный метод обогащения неметаллорудных полезных ископаемых: Обзор. - М.: ЦНИИЭТСтром., 1968-26 с.
2. Owyer F.B, Thompson R.L., Ore sorting./ Develop and Innosot. Aust.ProcessInd/, Aust. Chen. Eg. Conf., Newcastle, 1972, Pop. Sundney, S.A. p. 81-88.
3. Деркач В. Г. Специальные методы обогащения. -М. :Недра, 1966.
4. Кармазин В.И. Современные методы магнитного обогащения руд черных металлов. -М. :Госгортехиздат, 1962.

5. Козин В.З. Опробование и контроль технологических процессов обогащения. -М. :Недра, 1985
6. Методика определения содержания хризотил-асбеста/Подред. К. К. Золоева. -Асбест. :ВНИИпроектасбест, 1985.-69 с.
7. Научно-технический прогресс в асбестовой промышленности СССР/Под ред. В. А. Сони́на. -М. :Недра, 1988. -300 с.
8. Щедринский М.Б., Волегов А.В., Моллер З.К. Обогащение асбестовых руд. -М. :Недра, 1962. -234 с.
9. Патент 3493108 США, МКИ⁴ ВОЗ С-1/00. Способ переработки асбестовой руды/Э. Мартинец (США). -1970.
10. Патент 1526325 Франция, МКИ⁴ ВОЗ С-1/00. Способ переработки асбестовой руды/ Асбестоскорпорейшин. -1968.
11. *Цытин Е.Ф., Пелевин А.Е., Лавник В.Н.* и др. Выбор признаков разделения для предварительного обогащения асбестовой руды Баженовского месторождения//Исследование процессов обогащения руд хризотил-асбеста: Сб.науч.тр./ ВНИИ-проектасбест. –Асбест. -1986. –С.46-58.
12. Кравец Б. Н. Специальные и комбинированные методы обогащения. М.: Недрa, 1986. – 340 с.

УДК 621.271.022

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ПЫЛИ ИЗ ДРОБИМОГО МАТЕРИАЛА ПОСЛЕ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ДРОБИЛКИ

Ю.А. Лагунова^{1,2}, проф., д.т.н., С. Л. Разбитнов^{1,3}, гл. инженер, аспирант
¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ
²ФГАОУ ВО «УрФУ им. первого Президента РФ Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, РФ
³ООО «Грубберский щебеночный завод», РФ

Показан опыт эксплуатации центробежной дробилки ДЦ-1,25 производства Урал-Омега в условиях ООО «Грубберский щебеночный завод» для производства кубовидного щебня сертифицированных фракций, приведена конструктивная схема классификатора

Ключевые слова: центробежная дробилка, кубовидный щебень, фракция, классификатор

DUST RECOVERY FROM CRUSHED MATERIAL AFTER CENTRIFUGAL CRUSHER

Yu.A. Lagunova, S. L. Razbitnov,

The experience of operating a centrifugal crusher DC-1,25 manufactured by Ural-Omega in the conditions of LLC "Grubersky crushed stone plant" for the production of cube-shaped crushed stone of certified fractions is shown, a structural diagram of the classifier is given

Keywords: centrifugal crusher, cubic crushed stone, fraction, classifier

На горных предприятиях, производящих материал для строительно-дорожной промышленности, одной из проблем является извлечение из готовой продукции пыли фракцией меньше 0,125 мм.

Качество продукта зависит от используемого дробильного и сортировочного оборудования, способа производства и типа обрабатываемой породы. Типичный завод по производству и сортировке щебня, имеющий в конечной стадии конусную дробилку мелкого дробления, производит стандартную щебеночную продукцию – фракции щебня 5-10 мм, 10-20 мм, 20-40 мм и др. В результате дробления исходного материала, кроме щебня, получается, так называемый, «отсев» крупностью 0-5 мм. Он имеет лещадность не ниже 30-50 % и по этой причине не всегда может быть использован в качестве наполнителя в строительных материалах. Для того чтобы эффективнее использовать имеющиеся ресурсы, получать щебень более высокого качества (а значит более дорогой), а также получать в отсевах материал, пригодный для использования в строительной индустрии, производственники все чаще используют технологию ударного дробления [1].

Дробилки, работающие по принципу центробежного разгона материала, а также другие дробилки ударного действия (роторные, молотковые) во всем мире стали общепризнанным эталоном дробления пород с целью получения высококачественного (кубовидного) материала. Молотковые и роторные дробилки применяют в основном на мягких материалах (например, не очень твердые виды известняка) из-за большого износа рабочих органов в процессе работы. Для более твердых и абразивных материалов

применяют центробежные дробилки с вертикальным валом. Именно они производят самые лучшие крупно- и мелкозернистые заполнители.

Дробление материалов с помощью центробежно-ударных дробилок обладает рядом преимуществ перед другими способами измельчения: предпочтительное разрушение по естественным структурным границам внутри измельчаемых кусков, незначительные сдвиговые деформации внутри однородных фрагментов. Это делает центробежно-ударные дробилки особенно эффективными для получения высокопрочного щебня кубовидной формы, а при измельчении руд позволяет достигнуть «раскрытия» вкраплений полезных компонентов при крупности в 2-3 раза большей, чем в другом измельчительном оборудовании.

Гранулометрический состав материала, получаемого при дроблении на линиях, в основе которых используют центробежные дробилки, полностью удовлетворяет требованиям к составу ЩМА (щебнемастичный асфальтобетон). Даже мелкие фракции щебня, получаемого в результате дробления, идеально подходят под требования самых современных заводов. Особенно это касается, так называемых, «отсевов» – фракций меньше 5 мм. Эту фракцию (возможно с дополнительной классификацией) активно приобретают, как высококачественный искусственный песок.

Есть много готовых решений дробилок ударного действия, но все они имеют недостатки — это большие габаритные размеры оборудования, часто импортное происхождение и цена. Однако остановимся именно на конструкции центробежной дробилки (рис. 1).

Станина является опорой дробилки в целом. Центральная ее часть, стакан с подстаканником, является одновременно и опорой ротора. Станина состоит из корпуса, к которому с помощью сварки, ребрами, крепится стакан, к стакану крепится трубка для заливки масла и вентиляции. В верхней части станины имеется 12 отверстий для крепления статора [2, 3].

Статор предназначен для загрузки и разгрузки дробилки и служит камерой, в которой происходит процесс измельчения. К крышке статора с помощью сварки, привариваются две трубы: одна служит для загрузки, другая – для отсоса готового продукта. К крышке также крепится загрузочная труба, которая находится в площади отверстия для загрузки. С боку корпуса статора имеется разгрузочное окно, которое крепится к корпусу с помощью петель и кольца. Окно используется для разгрузки дробилки при завале или поломке. Во внутренней части статора привариваются направ-

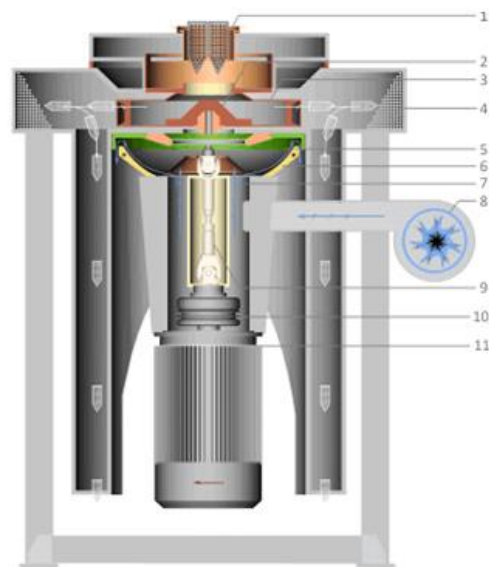


Рис. 1 Конструкция центробежной дробилки

ляющие материал ребра, которые вдобавок защищают корпус от изнашивания. Ребра крепятся к опорному кольцу в нижней части статора. Под опорным кольцом имеется уплотнительное кольцо, которое защищает окружающую среду от пыли и продуктов измельчения [2, 3].

Ротор состоит из шкива, который с помощью шпонки, пластины и болтов крепится к валу. В верхней части шкива находится уплотнительная крышка, которая крепится к нему болтами. Вал в станине посажен на подшипники скольжения. В средней части вала имеется выступ для распределения масла. Ротор играет роль рабочего органа, который посредством своего вращения придает частицам материала заданное движение.

Шкив исполняет роль части, которая крепится к валу и посредством ременной передачи приводится во вращение. Для этого с наружной части шкива имеют место вырезы под ремни. В корпусе шкива имеются ребра и отверстия для крепления к ускорителю.

В работе дробилки использован принцип свободного удара для разрушения исходного материала, и заключается он в следующем.

Материал подается питателем из загрузочного бункера в загрузочную воронку. Из загрузочной воронки измельчаемый материал под действием собственной силы тяжести поступает в центральное входное отверстие – ускоритель. Ускоритель представляет собой цилиндрическую полуку конструкцию с радиальными перегородками, вращающуюся вокруг вертикальной оси. Под действием возникающей в результате вращения ускорителя центробежной силы куски измельчаемого материала двигаются с ускорением от центра к периферии вдоль образуемых перегородками каналов. Этот процесс занимает доли секунды (0,01), но нагрузки на кусок значительны в связи с большим ускорением разгона. Во время циркуляции куски материала, взаимодействуя между собой, разрушаются и создают продукт измельчения.

Материал вылетает из ускорителя в камеру дробления с линейной скоростью, определяемой частотой вращения и диаметром ускорителя. В ней куски материала сталкиваются с материалом, лежащим в карманах камеры (т.е. самофутеровкой). Дополнительному измельчению материала способствует также процесс хаотичного столкновения кусков друг с другом внутри камеры.

Происходит несколько десятков столкновений (при мелкой фракции в питании и глубоком кармане – до сотни), прежде чем материал покинет камеру дробления. При этом энергия столкновений расходуется на дополнительное разрушение кусков.

После потери скорости в результате неупругих столкновений друг с другом, а также под воздействием силы тяжести дроблённые куски падают вниз и попадают в «разгрузочные штаны» дробилки, по которым «стекают» в бункер готового продукта или на отводящий конвейер. Затем продукт идет на классификацию для выделения недодробленных кусков и возврата их обратно в дробилку [2, 3].

Однако при таком способе дробления появляется большой процент песка и некондиционной пыли, от которой необходимо освободить дробленый продукт.

Поэтому была поставлена задача уменьшения размеров оборудования и сохранения эффективности работы по извлечению тонкой пыли из готовой продукции. Так же задачей является сделать оборудование (классификатор модульный) непосредственной частью центробежной дробилки.

Внедрение и проведение исследований запланировано на оборудовании производства ООО “Урал-Омега” - дробилка центробежная “ДЦ 1,25”. Дробилка встроена в технологическую цепочку завода по выпуску щебня, непосредственно включена в цикл производства.

Классификатор изготовлен и в 2023 г. будет смонтирован на ДЦ 1,25.

В классификаторе (рис. 2) используется встречный поток воздуха, который двигаясь в противоположную сторону движению дробимого материала, проходит через него и подхватывает тонкую пыль. Для извлечения тонкой пыли размером до 0,125 мм используются горизонтальные шиберы, расположенные под разными углами. Возникающие воздушные потоки, внутри классификатора осаждают материал размером более 0,125 мм, и он остаётся в общей массе, тонкая пыль размером до 0,125 мм выводится в циклон.

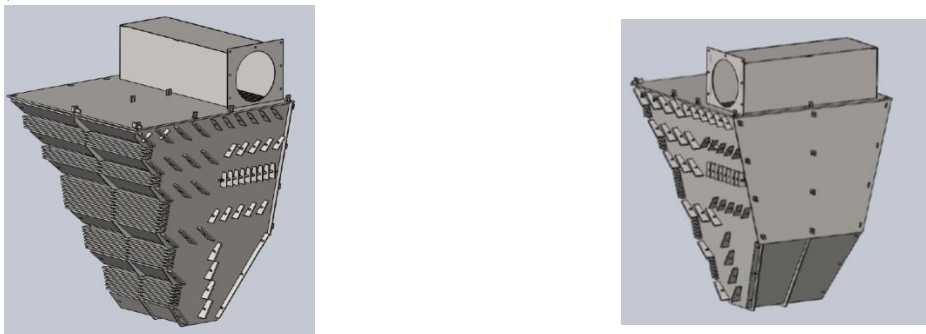


Рис. 2 Общий вид классификатора

Таким образом, в разработанном классификаторе должны выполняться следующие задачи:

- эффективное извлечение тонкой пыли до 0,125 мм;
- малые размеры оборудования и как следствие, снижение цены;
- возможность внедрения оборудования в действующие схемы производства без существенных изменений в конструктиве.

Список литературы

1. Лагунова Ю.А. Проектирование обогатительных машин. Учебник. Екатеринбург: Изд. УГГУ, 2009. – 378 с.
2. Лагунова Ю.А., Вознюк Я.Ю. Особенности конструкции и принцип действия центробежных дробилок // Горное оборудование и электромеханика. - № 9. – 2010. – С. 24-29
3. Лагунова Ю.А., Вознюк Я.Ю. Опыт эксплуатации центробежной дробилки ДЦ-1,6 // Горное оборудование и электромеханика. - № 11. – 2010. – С. 40-44.

УДК 621.271.022

ПРИМЕНЕНИЕ ДРОБИЛЬНО-ПЕРЕГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВ В СОСТАВЕ ЦПТ НА КАРЬЕРАХ

Ю.А. Лагунова^{1,2}, проф., д.т.н., Аль Саади Сайф Кузай Шрайда¹, аспирант
¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ
²ФГАОУ ВО «УрФУ им. первого Президента РФ Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, РФ

Создание нового поколения отечественного дробильного оборудования, надежного и конкурентоспособного по производительности, удобству обслуживания и стоимости – это задача нашего времени, особенно в условиях жестких санкций со стороны Америки, Англии и Западно-Европейских стран.

Ключевые слова: дробильно-перегрузочная установка, конусная дробилка крупного дробления

APPLICATION OF CRUSHING AND LOADING DEVICES AS COMPOSITION OF THE CPT IN THE QUARRY

Yu.A. Lagunova, Al Saadi Saif Kuzai Shrayda

The creation of a new generation of domestic crushing equipment, reliable and competitive in terms of performance, ease of maintenance and cost, is the task of our time, especially in the face of severe sanctions from America, England and Western European countries.

Keywords: crushing and transfer plant, coarse cone crusher

Повышения эффективности производства на карьерах можно достичь внедрением циклично-поточной технологии (ЦПТ).

Использование дробильных установок и конвейеров в карьерах позволяет сократить расстояния транспортирования, уменьшить число автосамосвалов, численность обслуживающего персонала и значительно снизить эксплуатационные расходы.

Применение карьерных дробильно-перегрузочных установок (КДПУ) в составе ЦПТ означает перенос крупного дробления в карьер. В этом случае установки работают в специфических условиях, существенно отличающихся от условий работы в составе дробильно-обогачительных фабрик.

Создание нового поколения отечественного дробильного оборудования, надежного и конкурентоспособного по производительности, удобству обслуживания и стоимости – это задача нашего времени, особенно в условиях жестких санкций со стороны Америки, Англии и Западно-Европейских стран.

Реализация этого пути требует значительных инвестиций в горно-промышленную отрасль и изменения подхода предприятий к вложению средств и выделению ресурсов на развитие перспективных технологий.

Достоинства этого пути:

- поддержка российских производителей,
- создание дробильного оборудования, более доступного для оснащения отечественных горных предприятий,
- сохранение и расширение экспорта оборудования.

Развитие горнодобывающей промышленности характеризуется интенсивным возрастанием объемов и доли открытых разработок, которые по технико-экономическим и социальным показателям превосходят подземные разработки. На открытых разработках во всех отраслях горнодобывающей промышленности все шире применяется горнотранспортное оборудование непрерывного действия, которое обеспечивает лучшие технико-экономические и социальные показатели работы предприятий, чем оборудование циклического действия. Кроме того, применение оборудования непрерывного действия на добычных работах позволяет разрабатывать сложноструктурные пласты селективным способом и получить кондиционную кусковатость без дополнительного дробления (например, для добываемых открытым способом углей максимальный размер кусков не должен превышать 300 мм) [1, 2, 3].

В процессе увеличения глубины карьеров возрастает себестоимость добычи ПИ и ухудшается экологическая обстановка. Это связано, в частности, с увеличением затрат на внутрикарьерный транспорт. Применение автомобильного транспорта на нижних горизонтах карьеров приводит к увеличению загазованности карьера. Выше перечисленные проблемы может решить использование циклично-поточной технологии (ЦПТ) при разработке глубоких карьеров.

На глубоких карьерах Российской Федерации применяется традиционная схема с комбинированным транспортом. В основном это железнодорожный подвижной состав и автомобильный транспорт. В этой связке редко используется конвейерный транспорт, вследствие неспособности перемещать горную породу с крупностью кусков 500 мм. Поэтому возникает необходимость дробления горной массы в карьере.

Применение дробильно-сортировочных агрегатов (ДСА) в системе ЦПТ карьера позволит:

- значительно облегчить транспортировку горной массы на поверхность с помощью элеваторных конвейеров;
- сократит автомобильный транспорт;
- упростит процессы рудоподготовки на обогатительной фабрике в связи с переносом стадий крупного, среднего и мелкого дробления непосредственно в карьер.

Технологическая цепь самоходных дробильных агрегатов (СДА) состоит из загрузочного бункера для породы, наклонного питателя, подающего породу из бункера в дробилку, дробилки, приемного конвейера, расположенного под дробилкой, и консольного конвейера, передающего породу на забойную конвейерную линию [1, 2, 3].

Преимущественное распространение СДА получили на карьерах по добыче флюсовых, строительных материалов, в частности, щебня.

Самоходные дробильные агрегаты получили широкое распространение на карьерах строительных материалов, однако в последнее время начинают создаваться мощные агрегаты, оснащенные щековыми и ко-

нусными дробилками производительностью 2000-3000 т/ч, предназначенные для использования на рудных карьерах, в первую очередь, на добыче полезных ископаемых.

Циклично-поточная технология используется в основном при добыче руды, что объясняется отсутствием серийных отвалообразователей для складирования скальных пород с размерами кусков до 400-500 мм и специальных конвейеров для транспортирования породы крупностью до 1000-1200 мм.

В настоящее время наиболее подготовленной и экономически эффективной является ЦПТ с использованием карьерных *дробильно-перегрузочных установок*. Эта схема и заложена в большинстве выполненных проектов и получила преимущественное распространение в промышленных условиях [1, 2, 3].

Внутрикарьерные дробильно-перегрузочные установки (ДПУ) оборудованы серийными конусными и щековыми дробилками типа ККД-1500 и ЩДП 15х21, предназначенными для корпусов крупного дробления обогатительных фабрик. Затраты на сооружение таких установок огромны, причем около 60 % приходится на строительные-монтажные работы, выполнение которых занимает 1,5-2,5 года. Кроме того, дробильно-перегрузочные установки имеют значительную высоту (более 30-40 м - для конусных дробилок, 20-25 м – при использовании щековых), что требует выполнения специальных, весьма трудоемких работ по проходке «колодцев» и камер для их размещения. В качестве примера можно отметить готовящуюся к пуску на ОАО «Михайловский ГОК» ДПУ-7200 производства ПАО «Уралмашзавод» (рис. 1).

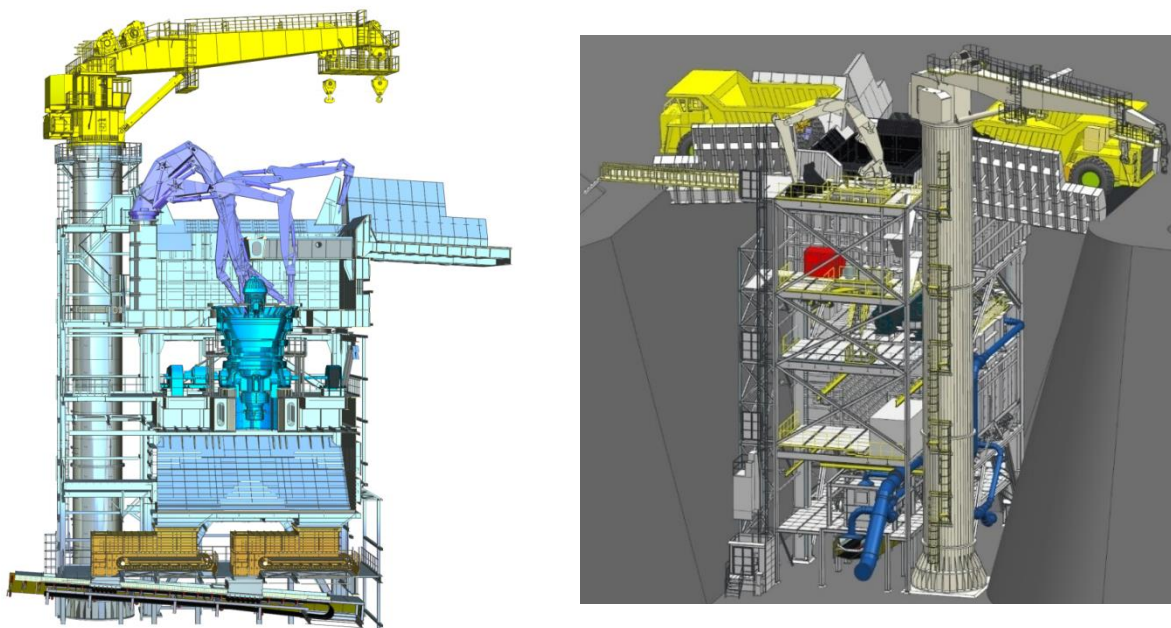


Рис.1. Новейшая ДПУ-7200 производства ПАО «Уралмашзавод»

Вследствие значительной стоимости и больших объемов строительного-монтажных работ по сооружению внутрикарьерных дробильно-перегрузочных установок шаг их переноса достигает 120-150 м, что увеличивает дальность транспортирования автосамосвалами до 2-2,5 км и более и существенно снижает экономическую эффективность ЦПТ.

ДПУ с конусными дробилками типа ККД не нуждаются в предварительном грохочении подаваемого в них материала. Наблюдения за динамическими усилиями, возникающими в крупных конусных дробилках, показывают, что при дроблении одних крупных кусков возникают более значительные амплитуды колебания рамы и фундамента, чем при дроблении рядовой горной массы. Мелкая фракция не только не усложняет процесс дробления, а, наоборот, при наличии крупной фракции облегчает его. Практика показывает, что при равномерной подаче горной массы и трехсторонней разгрузке автосамосвалов производительность конусных дробилок может достигать 22-25 млн. т/год без отсева мелочи, что согласуется с производительностью конвейеров с шириной ленты 2000 мм.

Список литературы

1. Передвижные дробильно-сортировочные установки (зарубежный опыт). / Клушанцев Б.В. // Строительные и дорожные машины – 1996 - №6 – с.15-19
2. Симкин Б.А., Дихтяр А.А., Зиборов А.П. и др. Комплексная механизация процессов циклично-поточной технологии на карьерах. – М.: Недра, 1985 – 195 с.
3. Лагунова Ю.А., Жиганов П.А. Оценка влияния дробильно-перегрузочных агрегатов на поточность транспортных потоков карьеров // Горный вестник Узбекистана, 2009. - №2 (37). – С. 78-81.

УДК 621.926

СПОСОБ РАЗРУШЕНИЯ ХРУПКИХ МАТЕРИАЛОВ В ДРОБИЛКЕ, РАБОТАЮЩЕЙ НА СДВИГ

А.Г. Никитин, профессор, Н.М. Курочкин аспирант
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, РФ

Приведено описание конструкции дробилки, в которой разрушение перерабатываемого материала происходит за счет действия только касательных напряжений, предел прочности при этом для данного материала принимает минимально возможное значение, в два раза меньше, чем при действии только нормальных напряжений, что позволяет уменьшить расход энергии на единицу готовой продукции почти в два раза.

Ключевые слова: дробилка, энергоэффективность, деформация сдвига, упор.

METHOD FOR DESTRUCTION OF BRITTLE MATERIALS IN A SHEAR CRUSHER

Nikitin A.G., Kurochkin N.M.

A description of the design of the crusher is given, in which the destruction of the processed material occurs due to the action of only tangential stresses, while the tensile strength for this material takes on the minimum possible value, two times less than under the action of only normal stresses, which makes it possible to reduce the energy consumption per unit of finished material. production almost doubled.

Keywords: crusher, energy efficiency, shear deformation, stop.

Расход энергии на дробление различных материалов составляет большую долю (до 5 %) в энергетическом балансе мира. Многие промышленные производства, в том числе горные, перерабатывают в больших количествах сыпучие материалы различных классов крупности. В большинстве случаев нужная крупность достигается разрушением кусков на фрагменты в дробилках [1].

Одним из основных показателей процесса является энергоэффективность дробления [2], которая определяется массой дроблёного материала, получаемой при расходовании единицы электроэнергии.

В Сибирском государственном индустриальном университете разработана конструкция энергоэффективной одновалковой дробилки, в которой захват дробимого куска происходит за счет упора, расположенного на валке (рисунок), при этом соблюдается условие формирования в разрушаемом куске деформации сдвига [3].

При такой конструкции валковой дробилки в зоне дробления в кусках дробимого материала возникают только касательные напряжения, предел прочности при этом для конкретного материала принимает минимально возможное значение, в два раза меньше, чем при действии только нормальных напряжений [4]. Такая конструкция валковой дробилки позволяет уменьшить расход энергии на дробление кусковых материалов.

Дробилка (рисунок) состоит из корпуса 1, в котором установлен в радиальных подшипниках приводной валок 2. Валок приводится во вра-

щение электродвигателем (на рисунке условно не показан) через муфту и клиноременную передачу.

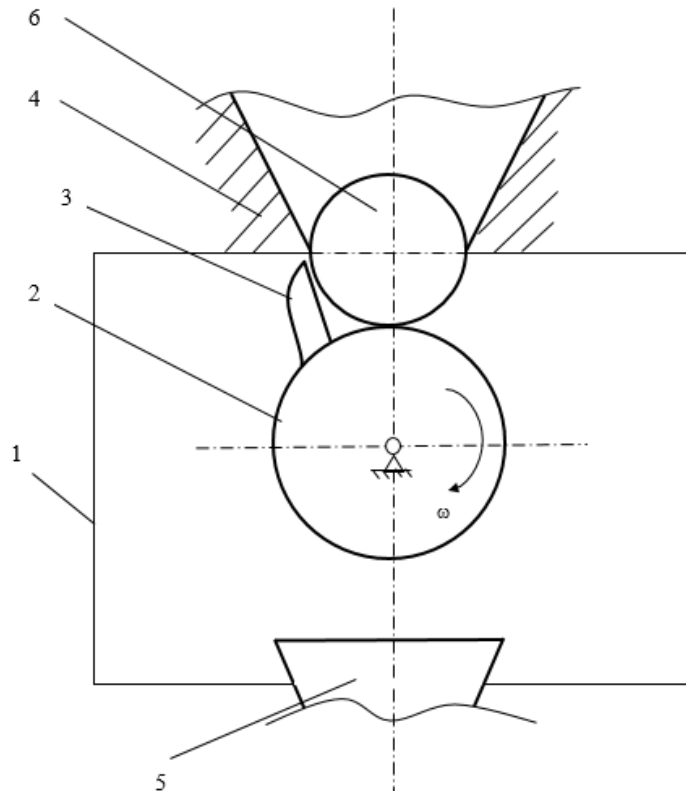


Рисунок – Схема дробилки, работающей на сдвиг
 1 – корпус дробилки; 2 – приводной валок; 3 – упор; 4 – точка;
 5 – разгрузочная воронка; 6 – дробимый кусок

Валок оснащен упорами 3, закрепленными на поверхностях валка, при этом рабочая поверхность упоров совпадает с радиальной линией валка. Высота упоров должна быть одинаковой и равна величине зазора между наружной поверхностью валка и нижней кромкой выходного отверстия точки, чтобы обеспечить генерацию в исходном разрушаемом куске сдвиговую деформацию.

В верхней части корпуса имеется точка 4 для подачи материала, размер выпускного отверстия которой соответствует размеру загружаемого куска, при этом ось точки совпадает с вертикальной осью валка. Нижняя кромка точки не должна касаться верхней части упора, установленного на валке. В нижней части корпуса расположена разгрузочная воронка 5.

Дробление происходит следующим образом. Куски дробимого материала 6 через точку один за другим подаются в зону дробления, образованную внешней поверхностью валка, рабочей поверхностью упора и нижней кромкой выходного отверстия точки.

При вращении валка упоры, расположенные на поверхностях валка, периодически образуют зазор между нижней кромкой выходного отверстия точки и внешней поверхностью валка, размер которого больше размера куска, в который проваливается кусок и опирается на кромку точки, находящейся со стороны, противоположной направлению вращения валка.

При дальнейшем вращении валка кусок зажимается между рабочей поверхностью упора и кромкой течки, при этом за счет возникновения в нем касательных напряжений развивается деформация сдвига и кусок разрушается. В результате разрушения исходного куска образуется два фрагмента одинакового размера.

Один из фрагментов, который находится под упором, двигающимся в сторону вращения валка, проваливается в разгрузочную воронку. Другой фрагмент падает вниз в карман, образованный поверхностями валка и следующего упора, а затем перемещается, опираясь на рабочую поверхность следующего упора, в сторону разгрузочной воронки.

В зависимости от заданного гранулометрического состава исходного продукта и требуемого конечного размера фракции, устанавливается необходимый зазор между валком, на котором крепятся сменные упоры соответствующей высоты, и нижней кромкой выходного отверстия течки, а также меняется течка соответствующего размера.

Список литературы

1. Клушанцев Б.В., Косарев А.И., Муйземнек Ю.А. Дробилки. – М.: Машиностроение, 1990, – 320 с.
2. Масленников В. А. Дробилки, разрушающие материал сжатием // Известия вузов. Горный журнал. – 1996. – № 10-11. – С. 124–138.
3. Никитин А.Г., Шабунов М.Е., Герике П.Б. Расчет мощности дробильной машины с упорами на валке // Известия вузов. Черная металлургия. – 2022. Т.65, № 2. С. 145-147.
4. Степин П.А. Сопротивление материалов: Учебник. – Санкт-Петербург: Лань, 2014. – 320 с.

ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОЕ И НЕФТЕГАЗОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

***Чтобы нефть и газ бессменно
Горный комплекс добывал,
И в других месторожденьях
Недостаток не настал,
Чтоб районы шахт и скважин
Нам дарили, что хотим –
Сей раздел не только важен,
А совсем незаменим!***

Доц. П.А. Жиганов

УДК 622.244

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТРАДИЦИОННОГО СПОСОБА БУРЕНИЯ СКВАЖИН В СОВРЕМЕННЫХ РЕАЛИЯХ

А.М. Баклаев, студент, К.М. Исаев, студент

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ

Приведено сравнение традиционного способа бурения и бурения комплексом силового верхнего привода по базовым показателям, проведен анализ условий применения этих методов.

Ключевые слова: ротор, вертлюг, силовой верхний привод, условия применения.

THE RELEVANCE OF THE APPLICATION OF THE TRADITIONAL METHOD OF DRILLING WELLS IN MODERN REALITIES

A.M. Baklaev, K.M. Isaev

The article presents a comparison of the traditional method of drilling and drilling with a power top drive complex according to basic indicators, an analysis of the conditions for the use of these methods is carried out.

Keywords: rotor, swivel, power top drive, application conditions.

В строительстве скважин на нефть и газ используется роторное бурение и бурение с помощью силового верхнего привода. Система силового верхнего привода (СВП) в последние годы становится наиболее популярным способом бурения нефтяных и газовых скважин, из-за внедрения новых технологий строительства скважин [1]. Попробуем разобраться, утратил ли свою актуальность традиционный способ бурения с помощью вертлюга и ротора или же он так же широко применяется наряду с СВП, а также выявим условия применения этих способов.

Система силового верхнего привода – важный элемент буровой установки, который представляет собой подвижный вращатель, совмещающий функции вертлюга и ротора, оснащённый комплексом средств для работы с бурильными трубами при выполнении спускоподъёмных операций. СВП предназначена для быстрой и безаварийной проводки вертикальных, наклонно-направленных и горизонтальных скважин при бурении.

Технологические операции, выполняемые СВП в процессе строительства скважин:

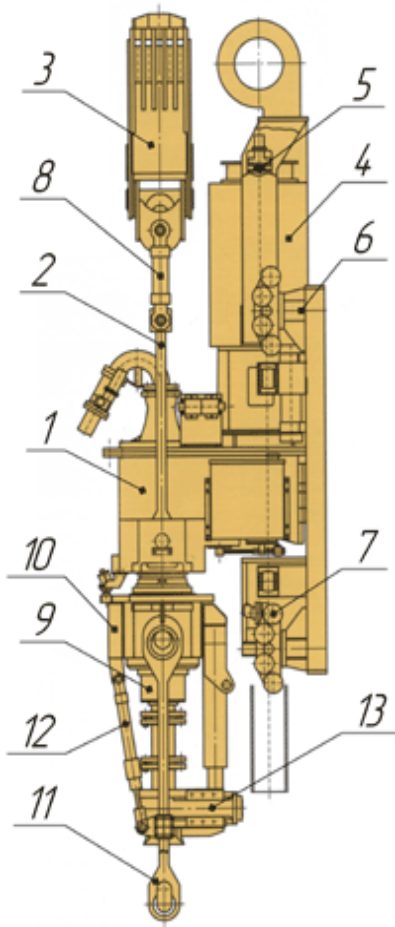
- вращение бурильной колонны при бурении, проработке и расширении ствола скважины;
- свинчивание, докрепление бурильных труб;
- проведение спускоподъёмных операций с бурильными трубами, в том числе наращивание бурильной колонны свечами и однотрубками;
- проведение операций по спуску обсадных колонн;
- проворачивание бурильной колонны при бурении забойным двигателем;
- промывка скважин и проворачивание бурильной колонны при СПО;

- расхаживание бурильных колонн и промывка скважины при ликвидации аварий и осложнений

Буровой ротор - устройство, относящееся к нефтепромысловому оборудованию и служащее для передачи вращательного движения колонне бурильных труб в процессе проводки скважин и для статического удержания бурильных труб на весу при спускоподъёмных операциях.

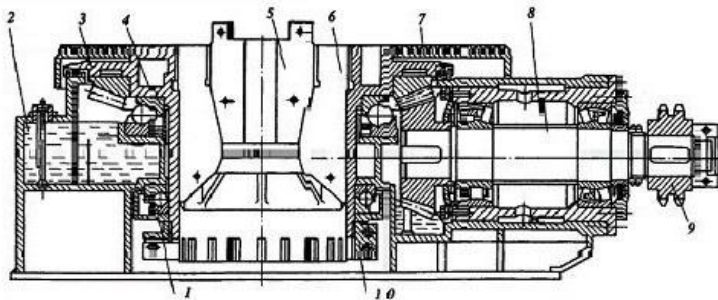
Буровой вертлюг – это устройство, назначение которого состоит в обеспечении подачи бурового раствора во вращающуюся бурильную колонну.

Рис. 1 - Схема верхнего привода



- 1 – вертлюг-редуктор;
- 2 – штропы вертлюга-редуктора;
- 3 – талевая система;
- 4 – электродвигатель постоянного тока;
- 5 – дисково-колодочный тормоз;
- 6 – рама с роликами (каретка);
- 7 – блок роликов;
- 8 – система разгрузки резьбы;
- 9 – трубный манипулятор;
- 10 – вертлюжная головка;
- 11 – штропы элеватора;
- 12 – гидроцилиндры отвода штропов элеватора;
- 13 – трубный зажим.

Рис. 2 - Схема бурового ротора



- 1 – вспомогательная опора;
- 2 – литой корпус;
- 3 – стол;
- 4 – упорный шарикоподшипник;
- 5 – зажимы для ВБТ;
- 6 – вкладыши;
- 7 – кольцевой кожух;
- 8 – вал;
- 9 – цепное колесо;
- 10 – закрепляющая гайка.

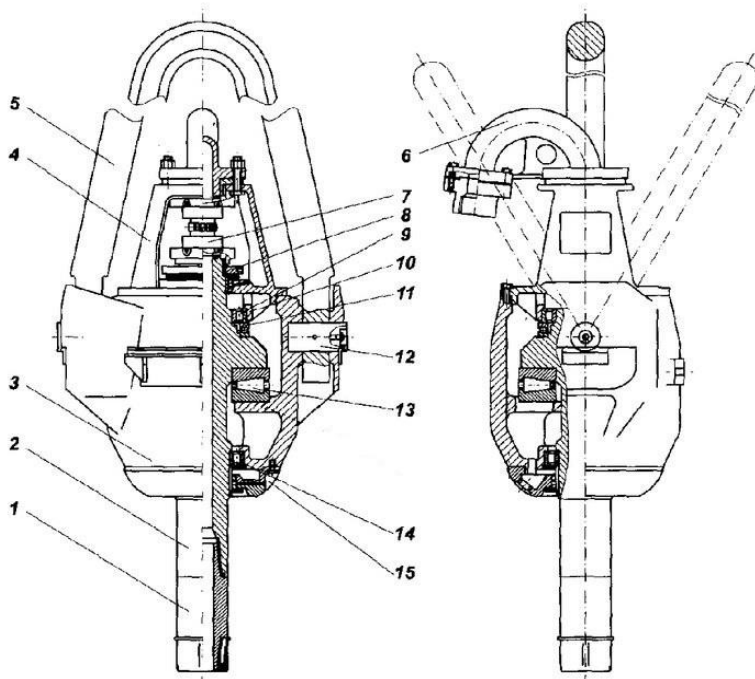


Рис. 3 - Схема бурового вертлюга

1 – переводник с левой резьбой; 2 – ствол; 3 – корпус; 4, 15 – верхняя и нижняя крышки; 5 – строп; 6 – отвод; 7 – гайка БСУ; 8 – манжетное уплотнение; 9, 14 – радиальные подшипники; 10 – стакан; 11 – вспомогательный упорный подшипник; 12 – пальцы; 13 – основной упорный подшипник.

Как видно из представленных схем выше, основные узлы ротора и вертлюга органично вплетены в СВП, позволяя последнему осуществлять свою работу быстрее и эффективнее, но из этого так же следуют недостатки СВП:

- усложнение конструкции, приводящее к увеличению затрат на само оборудование и его эксплуатацию;
- повышение требований к операторам, управляющим СВП, в то же время как для управления ротором и вертлюгом достаточно привлечение персонала с более низкой квалификацией;
- стоимость замены ротора и вертлюга меньше, чем замена СВП;
- в случае неполадок ремонт ротора и вертлюга проводится быстрее, чем ремонт СВП соответственно уменьшается время простоя.

Сравнение по показателям:

Металлоемкость вышки. При бурении верхним приводом требуется более металлоемкая вышка, т.к. габаритные размеры и масса СВП в среднем больше, чем у вертлюга. Это усложняет процесс транспортировки вышки до места проведения работ и последующего монтажа. В случае замены оборудования традиционного способа бурения на СВП возникает необходимость увеличения высоты вышки по вышеописанным причинам.

Энергоёмкость. В связи с большим количеством выполняемых СВП технологических операций требуется большее количество энергии, чем при бурении ротором.

Изготовление и ремонтпригодность. Конструктивно СВП более сложен в изготовлении и ремонте, чем вертлюг и ротор, т.к. он является комплексом, совмещающим в себе различные узлы, механизмы, датчики и электрооборудование. Для ремонта в случае поломки СВП необходимы

мастерские со специалистами высокой квалификации. Затраты времени на процесс ремонта значительны, что приводит к простоя скважины.

Скорость бурения скважин. При использовании СВП эффективность бурения повышается за счет снижения доли вспомогательных операций. Например, отсутствуют затраты времени на извлечение и установку вертлюга и квадрата в шурф при переходе от бурения к спускоподъемным операциям и наоборот. Скорость бурения скважины выше за счет сокращения времени при наращивании бурильной колонны и при проведении спускоподъемных операций. При этом все же при бурении на небольшие глубины эффективность традиционного способа будет больше, чем с использованием СВП.

Конструкция и глубина скважины. Традиционный способ подразумевает бурение «простых» (вертикальных) скважин, с незначительным отклонением по оси, и относительно небольшой глубины. СВП предназначена для бурения более глубоких скважин, сложной траектории (горизонтальное и наклонно-направленное бурение), а также забуривания боковых стволов.

Исходя из всего вышеперечисленного, можно сделать вывод, что, каждый метод строительства скважин имеет свои преимущества и недостатки. Выбор метода принимается исходя из условий и задач, которые необходимо выполнить, а также из экономических соображений. Хотя традиционный метод бурения из года в год уступает свои позиции более совершенному методу с применением СВП, свою актуальность он все же не потерял и по сей день.

Список литературы

1. Порожский К.П., Мурахтин В.Л., Epshtein V. От перспективных технологий нефтедобычи - к новой буровой технике/ Технологическое оборудования для горной и нефтегазовой промышленности: Сб. трудов XV Международной научно-технической конференции. Чтения памяти В.Р.Кубачека. – Екатеринбург; Уральский государственный горный университет, 2017. – с. 261-267.
2. Кухарева А.А., Гаврилова Л.А. К вопросу систематизации буровых вертлюгов в условиях импортозамещения / Технологическое оборудования для горной и нефтегазовой промышленности: Сб. трудов XX Международной научно-технической конференции. Чтения памяти В.Р.Кубачека. – Екатеринбург; Уральский государственный горный университет, 2022. – с. 171-174.
3. Гаврилова Л.А. Установление взаимосвязей между режимными и конструктивными параметрами буровых установок/ Доклад на симпозиуме "Неделя горняка – 2002" Москва, МГГУ, 28.01-02.02.2001: Горный информац.-аналитич. бюллетень, №8 - МГГУ. Москва, 2002. - с.97 - 103.
4. Гаврилова Л.А. К вопросу влияния конструктивного исполнения бурильных установок на технико-экономические показатели бурения/ Доклад на симпозиуме "Неделя горняка – 2006" Москва, МГГУ: Горный информац.-аналитич. бюллетень, №2 - МГГУ. Москва, 2006.- с.322 – 326.

УДК 622.244

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВЕЙШИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

А.И. Бердникова, магистрант

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ

Показано применение инновационных технологий и оборудования в нефтегазовой промышленности. Приведены примеры конкретного использования оборудования и технологий. Дан анализ проблем внедрения инноваций и перспектив развития современного оборудования в нефтегазовой промышленности.

Ключевые слова: нефтегазовая промышленность, инновации, технология, оборудование, искусственный интеллект.

USE OF THE LATEST TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT IN THE OIL AND GAS INDUSTRY

A.I. Berdnikova

The article examines the application of innovative technologies and equipment in the oil and gas industry. Examples of specific use of equipment and technologies are given. The problems of introducing innovations and prospects for the development of modern equipment in the oil and gas industry, as well as the advantages of using it, are analyzed.

Keywords: oil and gas industry, innovation, technology, equipment, artificial intelligence.

Нефтегазовая отрасль опирается на массивную инфраструктуру с огромным арсеналом различных типов оборудования. В то время как технические требования к этому оборудованию различаются в зависимости от области применения, некоторые проблемы являются обычными.

Пример материалов TriStar, используемых в нефтяной и газовой промышленности приведены ниже.

Инструменты для цементирования являются важными продуктами для строительства обсадных труб. Эти инструменты нельзя извлечь или использовать повторно. Обычные инструменты из железа и стали оказались слишком дорогими для этого расходного материала, к тому же их было трудно транспортировать.

Решение: CJ Composite, это композитные втулки предлагают модернизацию стандартных металлических втулок. Втулки TriStar CJ имеют обширную историю безотказной работы в нефтегазовой отрасли.

Устаревшие материалы для вешалок для лайнеров больше не доступны из-за экологических проблем. Многие современные сплавы, покрытия и композиты были способны решить экологические проблемы и требования к производительности, но все они оказались слишком дорогими для этого расходного компонента.

Задача: крупному OEM-производителю оборудования для морского бурения требовался более качественный материал для наматывающих канатов бурильных труб — катушек, которые контролируют протяжку ка-

бельных линий. Они традиционно использовали бронзу, но нуждались в более прочном, чистом и безвредном для окружающей среды варианте.

Решение: композиты CJ были определены как правильное решение. Этот материал не уступает по прочности традиционным металлическим вариантам и легко выдерживает необходимые нагрузки и удары. Он никогда не подвергается коррозии даже при постоянном воздействии соленой воды. А самосмазывание означает работу без смазки, что очень важно в экологически чувствительных морских средах [1].

Ultraflon: были разработаны втулки со стальной основой из стекла и футеровки из ПТФЭ, чтобы обеспечить такие же характеристики, как и наши композитные втулки CJ, в тяжелых условиях эксплуатации (500 °F).

Инженерные термопласты: РЕЕК и Rulon хорошо работают при повышенных температурах (350 °F) и обеспечивают длительный срок службы в условиях низкого давления и низкой нагрузки, требующих коррозионной стойкости. Rulon и РЕЕК будут сохранять свои механические свойства при повышенных температурах (350 °F) в течение тысяч часов.

TriStar поставила Rulon LR, используя собственную систему наполнителей для обеспечения повышенной размерной стабильности. Это преимущество обеспечивает оптимальную производительность даже после длительных периодов интенсивного использования, обеспечивая высокую точность и экономичный срок службы.

В прогнозе на 2023 год в нефтегазовой отрасли рассматриваются пять тенденций, влияющих на направление развития отрасли.

1. Искусственный интеллект

Все уровни нефтегазовой отрасли могут извлечь выгоду из искусственного интеллекта (ИИ). Как восходящий, так и нисходящий анализ может выявлять тенденции и делать прогнозы.

Процессы также предоставляют стратегические рекомендации по позициям компаний в отрасли. Операции среднего потока могут поддерживаться искусственным интеллектом, который может выступать в качестве основы для оперативных операционных систем, которые могут быть подключены через Интернет вещей. Это позволяет оптимизировать процессы, работать с максимальной производительностью, устранять дорогостоящие ошибки и сигнализировать о потенциальных источниках повреждений.

Нефтегазовая отрасль все чаще использует искусственный интеллект и науку о данных для решения сложных задач в области разведки и добычи, транспортировки и переработки [3].

Платформы с поддержкой ИИ позволяют принимать решения, используя данные когнитивной, предиктивной и предписывающей аналитики. Вот как можно использовать ИИ, чтобы помочь инженерам-нефтяникам и менеджерам в нефтегазовой отрасли находить новые идеи добычи и разведки и повышать рентабельность инвестиций.

2. Интернет вещей (IoT)

Интернет вещей относится к переходу от изолированной, децентрализованной и аналоговой технологии к высоко взаимосвязанной сети интеллектуальных устройств.

Интернет вещей использует обширное расширение памяти и коммуникационных технологий, которые стали возможными благодаря облачным вычислениям, для централизации информации с разрозненных устройств. Теперь эти устройства могут обмениваться данными друг с другом и с облаком, что обеспечивает централизованные и оптимизированные операции, а также контроль.

Нефтегазовая промышленность использует Интернет вещей для удаленного мониторинга, оптимизации производства, обеспечения безопасности работников и удаленного мониторинга.

Сбор данных в режиме реального времени возможен с помощью датчиков, размещенных в скважинах, противовыбросовых преенторов (ПВП), дроссельных клапанов и других устройств. Эти данные позволяют начинающим нефтегазовым компаниям быстро выявлять неисправное оборудование, позволяя инженерам быстро реагировать и планировать.

Решения IoT позволяют нефтегазовым предприятиям снизить затраты на техническое обслуживание и получить подробную информацию об их оборудовании и процессах [4].

3. Большие данные (Big Data) и аналитика

Аналитика данных и *большие данные* - это технологии, которые позволяют использовать новые потоки данных, доступные через Интернет вещей, а также другие наборы операционных данных.

Аналитика используется для анализа данных, поступающих через Интернет вещей, на каждом этапе рабочего процесса, чтобы выявить возможности для оптимизации процессов, обоснования бизнес-стратегий и будущих инвестиций.

Нефтегазовая отрасль ежедневно производит большие объемы неструктурированных данных. Платформы больших данных позволяют отраслевым аналитикам извлекать ценную информацию, например, о производительности.

Инженеры могут использовать эти данные для улучшения добычи и защиты резервуаров. Исторические данные о предыдущих операциях можно использовать для обучения и тестирования моделей и алгоритмов, управляемых ИИ. Нефтегазовая отрасль может извлечь больше пользы из повседневных решений по снижению эксплуатационных расходов и выбросов углерода за счет использования аналитики больших данных [4].

4. Роботы и автоматизация

Автоматизация и робототехника обеспечивают основу для безопасных и качественных условий труда.

Автоматизация и робототехника ускоряют операции, сокращая потребность в рабочей силе и, в свою очередь, повышая эффективность и уменьшая количество ошибок, вызванных человеческим фактором.

Операторы нефтегазовой отрасли часто работают в суровых и сложных условиях, которые представляют серьезную угрозу безопасности. Чтобы снизить риск несчастных случаев в нефтегазовой отрасли, а также повысить производительность труда, необходима полная автоматизация технологических процессов. Роботы также могут использоваться для инспекции, съемки и промышленной автоматизации на нефтеперерабатывающих заводах и буровых установках.

5. Облачные хранения

Позволяют хранить и обрабатывать данные на удаленных серверах. Это освобождает ценную локальную память и вычислительную мощность.

Облачные технологии и программные приложения могут повысить эффективность и безопасность нефтегазовой отрасли, а также способствуют цифровой трансформации.

Важным преимуществом является контроль ограничений с автоматическим сокращением подачи топлива, который доказал свою эффективность в минимизации неприятных отключений, поддерживая нагреватель в рабочих пределах.

Таким образом, несмотря на наличие множества технологий, обеспечивающих расширенные возможности подключения, нефтегазовый сектор еще не полностью реализовал весь потенциал использования новейших технологий и оборудования.

Список литературы

1. Гизатуллин А. Р., Усов Т. М., Шарафутдинов Р. Р. Опыт разработки 3D-моделей объектов и ГИС предприятий топливно-энергетического комплекса // Рациональное Управление Предприятием. 2015. № 5-6. С. 10-13.
2. Камалетдинов Р. С. Внедрение новаций в области добычи нефти // Нефтегазовая Вертикаль. 2015. № 17-18. С. 94-95.
3. Сергеев П. Применение 3D-технологий в нефтегазовой отрасли // Экспозиция Нефть Газ. 2015. № 6. С. 78-79.
4. Черемисова А. Ч. «Космический» ответ на «земные» проблемы // Нефть России. 2015. № 5-6. С. 40-42.
5. Щанкина Е. Г. Использование новейших технологий и оборудования в нефтегазовой промышленности // European science. 2016. №2 (12). URL:
6. <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-noveyshih-tehnologiy-i-oborudovaniya-v-neftegazovoy-promyshlennosti> (дата обращения: 11.02.2023).

УДК 622.24.051

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГЕОМЕТРИИ ШАРОШЕК БУРОВОГО ДОЛОТА ДЛЯ БУРЕНИЯ МЯГКИХ ПОРОД

Д. А. Борейко¹, зав. каф., к.т.н., Д. Ю. Сериков², проф., д.т.н.,

¹ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», г. Ухта, РФ

²ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина», г. Москва, РФ

Представлены результаты исследования новой конструкции шарошки бурового долота со смещёнными осями вращения шарошек относительно оси вращения долота. Предлагаемая конструкция отличается геометрическими характеристиками калибрующего конуса шарошки, выполненного в виде кривой четвёртого порядка. Кроме того, для реализации такой поверхности на практике предложено фрезерованное вооружение выполнять с наплавкой из карбида вольфрама для повышения износостойкости.

Ключевые слова: буровое долото, ось вращения, калибрующая поверхность, разрушение породы, стенка скважины

IMPROVING THE GEOMETRY OF DRILL BIT CUTTERS FOR SOFT ROCK DRILLING

D. A. Boreiko, D. Yu. Serikov

The article presents the results of the study of the new design of the drill bit roller with offset axes of rotation of the cutters relative to the axis of rotation of the bit. The proposed design differs in the geometric characteristics of the calibrating cone of the roller, made in the form of a fourth-order curve. In addition, in order to realize such a surface, in practice, it is proposed to make milled weapons with tungsten carbide surfacing to increase wear resistance.

Keywords: drill bit, rotation axis, calibrating surface, rock destruction, well wall

Эффективность шарошечного бурения зависит от большого количества различных факторов, которые можно разделить на технологические и конструктивные [1]. Широко известно, что конструктивно долото представляет собой породоразрушающий инструмент с шарошками, которые вооружены зубьями и имеют возможность вращаться вокруг собственной оси [1]. В большинстве случаев в конструкциях долот отсутствует смещение осей вращения шарошек относительно оси вращения долота, что позволяет снизить износ вооружения при бурении крепких, твердых и пород средней твердости, а также пород, обладающих повышенной абразивностью. Однако, такие долота обладают не самой высокой механической скоростью бурения и проходкой на долото при бурении мягких пород. Для увеличения механической скорости бурения при бурении мягких пород используют смещение осей вращения шарошек, которое позволяет увеличить проскальзывание зубьев вооружения по всей площади забоя [2]. Однако, анализ износа вооружения шарошечных буровых долот со смещёнными осями вращения шарошек, после отработки в реальных условиях бурения нефтяных и газовых скважин, позволил установить важную особенность этого процесса – это «зализывание» угла, образованного пересечением периферийного основного и калибрующего конусов шарошек и увеличение площади площадки притупления зубьев периферийных рядов ша-

рошек, что приводит к быстрой потере диаметра долота и, соответственно, диаметра самой скважины, снижению разрушающей способности [1, 3].

Предлагается внесение существенных коррективов в геометрию зубчатого вооружения шарошек, позволяющих обеспечить наиболее полноценный и длительный контакт основных и калибрующих конусов шарошек с поверхностью забоя и стенки скважины, что позволит снизить повышенный износ зубьев вооружения в зоне перехода образующей от периферийного основного к тыльному конусу шарошек и, в свою очередь, даст возможность зубчатому вооружению шарошек более длительный период времени сохранять требуемое удельное давление на разрушаемую породу, диаметр долота и, как следствие, обеспечит увеличение механической скорости. [3]

Меньшее основание калибрующего конуса выполнено со стороны задней части шарошки, контактирующей с цапфой, оно имеет точку M_1 контакта со стенкой скважины, а большее основание проходит от калибрующей вершины периферийного ряда зубьев шарошки, имеющей вторую точку M_2 контакта со стенкой скважины. Образующие основного и калибрующего усеченного конуса тела каждой шарошки имеют прямые линии, при этом ряды фрезерованных зубьев шарошки образованы на основном конусе тела шарошки так, что режущие кромки их фрезерованных зубьев расположены на образующей основного конуса тела шарошки, причем смещенная ось вращения каждой шарошки выполнена с возможностью проскальзывания зубьев вооружения по всей площади забоя и образована параллельно по отношению к ее несмещенному положению оси вдоль радиуса долота, в сторону вращения долота, при этом расстояние от смещенной оси вращения каждой шарошки до ее несмещенного положения постоянно для каждой шарошки и имеет величину «у» поперечного смещения, кроме того смещенная ось вращения каждой шарошки смещена от несмещенного положения оси так, что вершина шарошки, лежащая на смещенной оси ее вращения, смещена от центра вращения долота вдоль несмещенного положения оси на постоянное для каждой шарошки расстояние в сторону от указанных точек контакта соответствующей шарошки со стенкой скважины, при этом указанное расстояние имеет величину «х» продольного смещения (рисунок 1).

Новизной конструкции шарошки является то, на внешнюю поверхность указанного калибрующего усеченного конуса металлического тела каждой шарошки нанесен твердосплавный слой 8 с возможностью образования калибрующей поверхности, при этом профиль внешней поверхности этого слоя выполнен с образующей в виде выпуклой кривой 9, каждая точка которой образована пересечением калибрующей поверхности твердосплавного слоя со стенкой скважины при перекачивании шарошки по

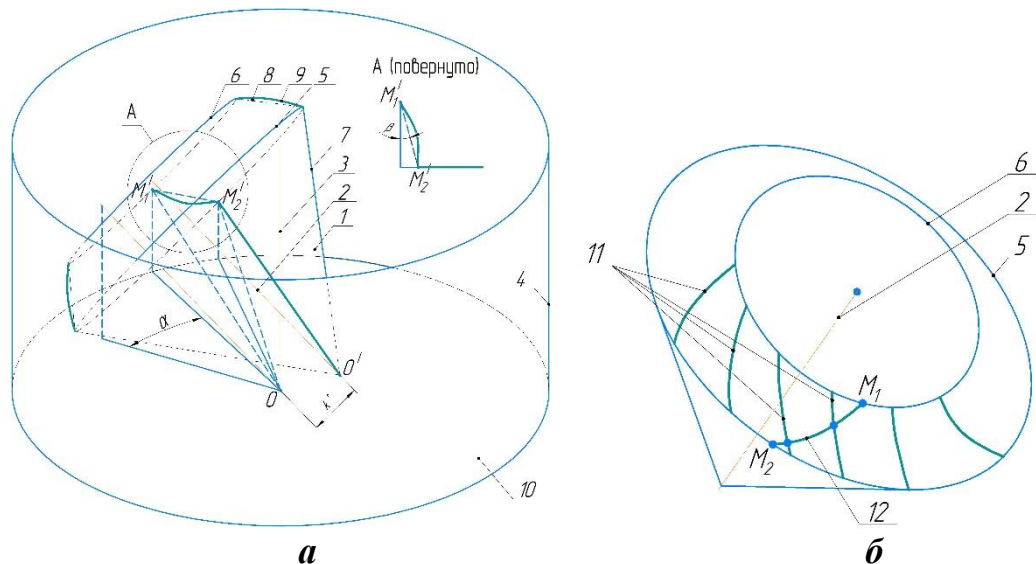


Рис. 1. Усовершенствованная конструкция шарошки долота для бурения мягких пород
 а - шарошка со смещенной осью вращения с твердосплавным слоем; б - расположение режущих кромок; 1 – шарошка; 2 – ось шарошки, 3 – ось вращения долота, 4 – стенка буровой скважины (пробуриваемого ствола), 5 – большее основание калибрующего усеченного конуса, 6 – меньшее основание калибрующего усеченного конуса, 7 – прямая образующая калибрующего усеченного конуса тела шарошки, 8 – твердосплавный слой; 9 – калибрующая поверхность твердосплавного слоя с профилем в виде выпуклой кривой, 10 – поверхность текущего забоя буровой скважины, 11 – режущие кромки ряда фрезерованных зубьев между большим и меньшим основаниями калибрующей поверхности шарошки, 12 – линия контакта стенки скважины с калибрующей поверхностью твердосплавного слоя

забою во время вращения бурового долота. Форма выпуклой кривой представляет собой выпуклую кривую четвертого порядка. На меньшем 6 и большем 5 основаниях калибрующего усеченного конуса тела шарошки толщина твердосплавного слоя уменьшается до нуля, образуя соответствующие указанные первую и вторую точки (M_1 , M_2) контакта тела шарошки на меньшем и большем основаниях со стенкой скважины. Точка M_1 контакта тела шарошки со стенкой скважины расположена на меньшем основании на минимально возможном расстоянии от цапфы долота, рассчитываемом для образования стенки шарошки необходимой прочности у ее уплотнительного узла. Эта точка контакта тела шарошки со стенкой скважины образует угол выхода α , построенный в проекции горизонтального забоя скважины между двумя лучами, где один луч проходит от центра долота по радиусу скважины параллельно оси шарошки, а второй луч проходит от центра долота до проекции горизонтального забоя скважины точки M_1 . Вторая точка M_2 контакта тела шарошки со стенкой скважины расположена на большем основании со смещением от указанной первой точки M_1 контакта на угол отклонения β , построенный в проекции стенки скважины между лучом вдоль стенки скважины и лучом от точки M_1 контакта к проекции стенки скважины второй точки M_2 контакта тела шарошки со стенкой скважины. При этом указанные угол выхода α и угол отклонения β

имеют установленную исследованиями зависимость друг от друга и связаны соотношением $\beta = (0,114 \dots 0,293) \cdot \alpha$.

Твердосплавный слой представляет собой наплавку из карбида вольфрама. Именно нанесение на калибрующую поверхность твердосплавного слоя и выполнение калибрующей поверхности твердосплавного слоя в виде выпуклой кривой, у которой каждая точка контактирует со стенкой скважины, при этом тело шарошки контактирует со стенкой скважины на большем и меньшем основаниях, а в других местах контакт идет с твердосплавным слоем, приводит к повышению эффективности работы шарошечного бурового долота путем снижения износа переходной зоны от калибрующей поверхности к основному конусу. Между большим и меньшим основаниями калибрующего усеченного конуса выполнен ряд фрезерованных зубьев, режущие кромки которых расположены на образующей калибрующего усеченного конуса тела шарошки, при этом режущие кромки указанных фрезерованных зубьев выполнены так, что по меньшей мере две режущие кромки указанного ряда фрезерованных зубьев пересекают линию контакта стенки скважины с калибрующей поверхностью твердосплавного слоя, расположенную между указанными первой M_1 и второй M_2 точками контакта стенки скважины с калибрующей поверхностью твердосплавного слоя. Твердосплавный слой может представлять собой, например, наплавку из карбида вольфрама, как один из наиболее технологичных и точных методов нанесения твердосплавного слоя, что обеспечит дополнительное эффективное калибрующее воздействие.

При работе долота калибровка стенок скважины осуществляется одновременно по всем точкам контакта калибрующей поверхности шарошки, начиная от точки на меньшем основании калибрующего усеченного конуса тела шарошки, продолжаясь точками контакта твердосплавного слоя шарошки и заканчивая точкой контакта на большем основании калибрующего усеченного тела шарошки.

Список литературы

1. Ищук, А. Г. Шарошечный буровой инструмент / А. Г. Ищук, Д. Ю. Сериков // Монография. – М : МДМпринт, 2021. – 302 с.
2. Сериков, Д. Ю. Математическое моделирование геометрии калибрующих конусов шарошек со смещенными осями вращения / Д. Ю. Сериков, А. А. Лютоев, Д. А. Борейко // Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина. – 2022. – № 2 (307). – С. 136-146.
3. Сериков, Д. Ю. Исследование взаимодействия калибрующих конусов шарошек со смещенными осями со стенкой скважины в многофункциональной системе автоматизированного проектирования КОМПАС-3D / Сериков Д.Ю., Борейко Д.А. // Автоматизация и информатизация ТЭК. – 2022. – № 3 (584). – С. 31-36.

УДК 622.242

ПОЧЕМУ ПРОИСХОДЯТ ОБРЫВЫ ТАЛЕВОГО КАНАТА НА МОБИЛЬНЫХ БУРОВЫХ УСТАНОВКАХ?

С.В. Воробель, канд. техн. наук, доц., **Г.Д. Трифанов**, д-р.техн. наук, проф.
Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь

Большое распространение в настоящее время получили мобильные буровые установки, оснащенные силовым верхним приводом. Известны случаи обрыва талевых канатов на мобильных буровых установках, причины которых проанализированы в статье.

Ключевые слова: талевый канат, мобильная буровая установка, талевая система, буровая лебедка.

WHY DO ROPE BREAKS OCCUR ON MOBILE DRILLING RIGS?

S.V. Vorobel, G.D. Trifanov

Mobile drilling rigs equipped with a top drive are now widely used. There are known cases of rope breakage on mobile drilling rigs, the causes of which are analyzed in the article.

Keywords: hoisting rope, drill line, mobile drilling rig, tackle system, drilling winch

Развитие буровых установок связано не только с повышением их грузоподъемности, внедрением новых механизмов, автоматизацией и механизацией технологических процессов на буровой, но и с улучшением таких показателей как транспортабельность и монтажеспособность. Поэтому всё большее распространение получают мобильные буровые установки, имеющие возможность их оснащения системой силового верхнего привода. Однако, стремление повышения конкурентоспособности, снижения стоимости буровой установки, массы и габаритов основных агрегатов приводит к снижению надежности отдельных элементов. Так, одной из основных систем буровой установки является спуско-подъемный комплекс. Повышение компактности подъемного оборудования неизменно ведет к уменьшению диаметров шкивов и барабана буровой лебедки, что приводит к значительному снижению долговечности талевого каната. Талевый канат является наиболее слабым звеном подъемной системы буровой установки. Он работает с относительно низким запасом прочности при высокой неравномерной нагрузке, испытывает множественные перегибы на шкивах и значительные динамические нагрузки, навивается на барабан в несколько слоев. Несмотря на тяжелые условия работы, к талевым канатам в основном относятся как к расходным материалам. При этом обрыв талевого каната на буровой приводит к падению многотонной конструкции, состоящей из верхнего привода и талевого блока, что может привести к человеческим жертвам, не говоря уже о значительном материальном ущербе.

Одной из популярных установок в России является мобильная буровая установка ZJ-40, грузоподъемностью 225 тс, производства КНР. Внешний диаметр шкивов талевой системы буровой установки ZJ-40 915 мм, по дну канавки шкива примерно 820 мм. Отношение диаметра шкивов крон-

блока и талевого блока к диаметру каната составляет $820/32=25,6$. Для сравнения, в талевых системах стационарных буровых установок производства «Уралмаш НГО Холдинг» для каната диаметром 32 мм используются шкивы с диаметром по дну канавки 1000 мм, отношение $1000/32=31,25$. Известно, что долговечность талевого каната зависит от отношения диаметра шкива или барабана к диаметру каната во второй степени [1, 4].

Такое же сравнение можно привести для барабанов буровых лебедок. В состав оборудования буровой установки ZJ-40 входит буровая лебедка JC28L. Диаметр барабана лебедки 560 мм, отношение диаметра барабана к диаметру каната 17,5. Лебедка Уралмаш ЛБУ-1200, диаметр каната 32 мм, диаметр барабана 800 мм, отношение $D/d = 25$.

Вместе с буровой установкой ZJ-40 поставляются талевые канаты номинальным диаметром 32 мм, также произведенные в Китайской Народной Республике. Это шестипрядные канаты с металлическим сердечником. Количество проволок в одной пряди 19, конструкцию пряди 1+9+9 Seal, что соответствует отечественному обозначению ЛК-О – прядь с линейным касанием проволок, в слоях проволоки с одинаковым диаметром. Следует отметить, что в нашей стране существует специальный стандарт на талевые канаты, а именно ГОСТ 16853-88. Одна прядь канатов по ГОСТ 16853-88 включает 31 проволоку, а конструкция пряди в целом (1+6+6/6+12) ЛК-РО. То есть проволок в пряди больше, и они имеют меньший диаметр при одинаковых диаметрах канатов 6x19 и 6x31.

Талевый канат 6x19S+м.с. по конструкции соответствует канату по ГОСТ 3081-80. Интересно, что область применения последних в отечественной практике это ванты, растяжки, несущие канаты подвесных канатных дорог, несущие канаты мостов, направляющие канаты в шахтных стволах, то есть там, где канат не работает на шкивах или барабанах. Тем более, крайне нецелесообразно применять такие канаты в условиях тяжелого режима работы на шкивах с многочисленными двойными перегибами, как это происходит с канатом в талевой системе буровых установок. Иногда канаты малого диаметра по ГОСТ 3081-80 применяются в качестве подъемных на автокранах, опять же с целью уменьшения размеров подъемного оборудования. Главным аргументом в защиту применения каната конструкции 6x19S на мобильных буровых установках ZJ-40 является то, что он соответствует стандартам американского нефтяного института. Это APISpec 9A «Технические условия на стальные канаты» и Практические рекомендации по применению стальных канатов в нефтяной промышленности API RP 9B.

Таким образом, на мобильных буровых при меньших соотношениях диаметров шкивов и диаметра барабана лебедки к диаметру каната, применяется канат с проволоками большего диаметра. Такой подход приводит к катастрофическому снижению долговечности подъемного каната. Указанные обстоятельства требуют совсем иного подхода к эксплуатации ка-

натов по сравнению со стационарными буровыми установками. Попытка эксплуатировать канат на мобильной установке с требованиями, сформулированными для канатов стационарных буровых, приводит к случаям его обрыва.

Обрывы талевого каната, как и любого другого подобного инцидента, происходят при стечении обстоятельств. Вот эти обстоятельства, характерные для мобильных буровых установок:

1. Неправильный выбор конструкции каната под условия эксплуатации, например, выбор канатов с меньшим числом проволок, но большего диаметра.

2. Малый диаметр шкивов талевого блока и кронблока, а также барабана лебедки, которые ведут к усталостному износу проволок. Проволоки большего диаметра при этом изнашиваются быстрее.

3. Использование ударного бурения в горизонтальных скважинах, когда за счет кинетической энергии бурильной колонны пытаются компенсировать недостаточную нагрузку на долото. При этом талевый канат работает в крайне неблагоприятном режиме, значительно снижающем его ресурс и усиливающим процессы усталостного разрушения проволок (пункты 1 и 2).

4. При малом диаметре и длине барабана лебедки увеличивается число слоев навивки каната на барабан.

5. Уменьшенная полезная высота вышки, что приводит к увеличению количества двойных перегибов каната на шкивах талевой системы, и как следствие к износу каната.

6. Использование системы верхнего привода, которая имеет значительные вертикальные габариты и массу, что также приводит к дополнительным нагрузкам на талевую систему и канат.

Список литературы

1. Архипов К.И., Попов В.И., Попов И.В. Талевые канаты буровых и нефтепромысловых подъемных установок. – Альметьевск, 1998. – 174 с.
2. Быков И.Ю., Трифанов Г.Д., Воробель С.В. Оценка факторов износа талевого каната и выбор рациональной длины перепуска // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2007. – № 5. – С. 25–28.
3. Воробель С.В. Методика расчета талевого каната на выносливость // Стальные канаты. – Одесса: Астропринт, 2007. – Вып. 5. – С. 79–88.
4. Ефимченко С.И., Лысков А.А. Рациональная отработка талевых канатов: Учеб. пособие / Рос. гос. ун-т нефти и газа им. И.М. Губкина. – М., 2008. – 110 с.
5. API 9A Wire ropes. (API Specification for Wire Ropes), 2020. – 93 с.
6. API RP 9B Recommended Practice on Application, Care and Use of Wire Rope for Oilfield of Service. Ninth edition.

УДК–622

ОБЗОР УСТАНОВОК ДЛЯ БЕСТРАНШЕЙНОЙ ПРОКЛАДКИ ТРУБ МЕТОДОМ ПРОДАВЛИВАНИЯ

Р.Д. Козлов, техник, А.Н. Ермаков, с.н.с., к.т.н., А.А. Амосов, техник
НИЛ ЦТПМСК, г.Кемерово, РФ

Представлен обзор методов продавливания труб при бурении скважин в подземных горных выработках. В рассматриваемых методах приведена технологическая схема продавливания и буровые установки, для строительства тоннелей и бурения скважин. Также, рассматривались способы неуправляемого и управляемого бурения, которые применяются при строительстве подземных сооружений и бурения разведочных скважин. Метод продавливания представлен как альтернатива шнековому бурению.

Ключевые слова: продавливание, бестраншейная прокладка, отвод, неуправляемое продавливание, управляемое продавливание, массив, горная масса, шнековое бурение, грунт, горная выработка.

REVIEW OF INSTALLATIONS FOR TRENCHLESS PIPE-LAYING BY THE PUNCHING METHOD

Kozlov Roman D., Ermakov Aleksander N., Amosov Andrei A.

Presents an overview of methods of pipe punching for drilling wells in underground mine workings. The methods under consideration include the technological scheme of piercing and drilling rigs, for tunnel construction and borehole drilling. Also, considered the methods of uncontrolled and controlled drilling, which are used in the construction of underground structures and drilling exploratory wells. The piercing method is presented as an alternative to auger drilling.

Keywords: punching, trenchless laying, diversion, uncontrolled punching, controlled punching, massive, rock mass, auger drilling, soil, mine workings.

Для строительства подземных сооружений используются различные методы, среди которых особое место занимает метод продавливания. Этим методом построены многочисленные автодорожные, железнодорожные и пешеходные тоннели, а также тоннели метрополитена в городах и по трассе транспортных магистралей [2].

Рассмотрим метод продавливания бестраншейным способом с целью проведения сбоек в условиях угольных шахт опасных по газу и пыли.

Метод продавливания труб (рисунок 1) является альтернативой шнековому бурению, который позволяет исключить провисание труб в скважине, а также обвал породы в скважину [5].

На рисунке 1 представлен метод продавливания труб для городских тоннелей. В условиях шахты технология ничем не отличается, лишь только удалением грунта, сечением выработки и крепостью породы.

Метод продавливания труб реализуется вдавливанием трубы с открытым концом, снабженным ножом в массив. Удаление грунта, поступающего в трубу в виде пробки, разрабатывают и удаляют из забоя путем вымывания ручным или механизированным способом.

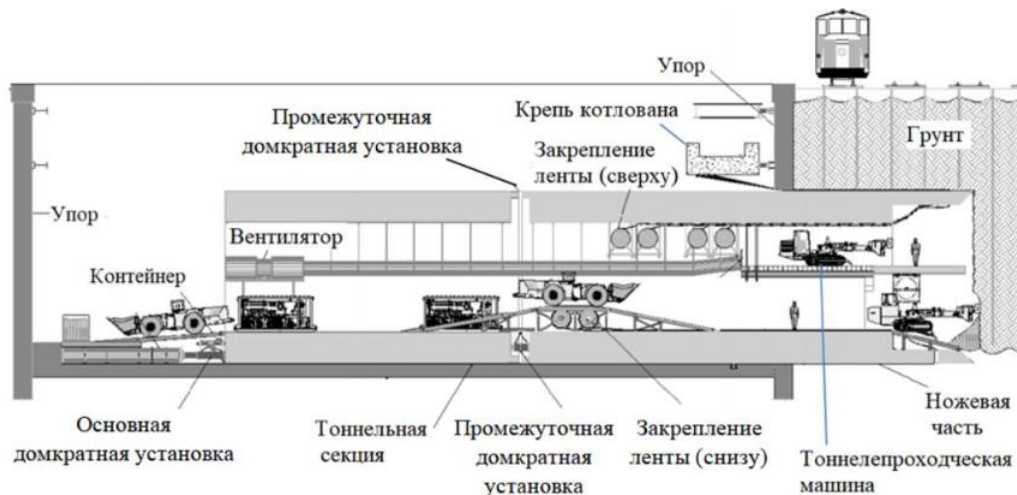


Рисунок 1 – Технологическая схема продавливания [2]

В зависимости от наличия возможности управления продавливания трубой могут быть выделены управляемые и неуправляемые системы продавливания.

Более сложным вариантом продавливания является ситуация, когда необходимо корректировать направление трубы, т.е. методом управляемого продавливания (рисунок 2). Такая необходимость может возникнуть в том случае если проведение выработки осуществляется по неоднородному массиву.

Метод неуправляемого продавливания не подходит для задач бурения в неоднородном массиве, т.к. труба при продавливании будет изменять траекторию движения из-за разной крепости пород [4].



Рисунок 2 – Направляющая рама [6]

Установка УПТ-6 "Геракл" (рисунок 3) предназначена для бестраншейной прокладки труб методом продавливания. Диаметр прокладываемых труб может варьироваться от 150 до 1720 мм. Протяженность пробуриваемой скважины достигает 90 м (в зависимости от состава и категории грунтов).

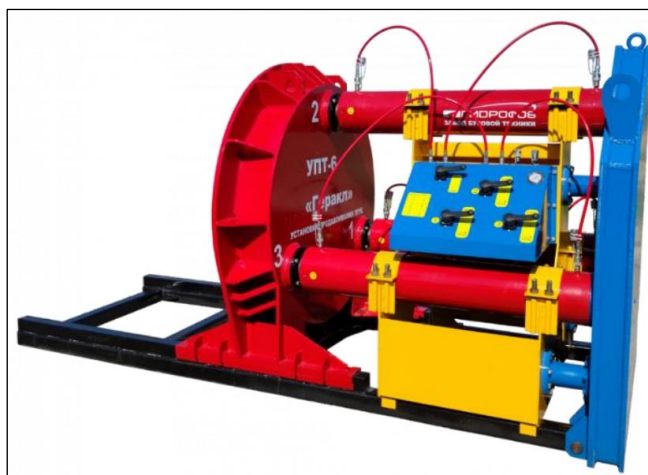


Рисунок 3 – Установка УПТ-6 «Геракл» [7]

Существующая технология продавливания особенностью которой является исключение рисков обвала породы [3] в скважину в отличие от шнекового бурения[1], провисание трубы. Безопасность данного метода и его экологичность занимает важное место при добыче полезного ископаемого в минерально-сырьевом комплексе. В дальнейшем потребуются провести оценку возможности бурения по углю с целью исследования категорий грунта, величины усилия буровой установки и массы машины.

Исследование выполнено при финансовой поддержке государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 075–03–2021 138/3).

Список литературы

1. Данилов Б. Б., Смоляницкий Б. Н., Чещин Д. О. Определение основных параметров шнекового транспортера установки для одностадийного шнекового бурения скважин в грунте // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2016. № 3 (2).
2. Маковский Л. В., Чан В. Л. Современная технология строительства тоннелей методом продавливания // Вестник Московского Автомобильно-Дорожного Государственного Технического Университета (МАДИ). 2018. № 2 (53). С. 98–103.
3. Панина К. Н. Анализ метода продавливания при прокладке защитного футляра газопроводных труб Юго-Западный государственный университет, 2020. С. 71–75.
4. Хантаев И. С., Орлов Е. В. Трубы для реализации бестраншейных технологий протягивания и продавливания // Строительство И Архитектура. Экспресс-Информация. Серия: Инженерное Обеспечение Объектов Строительства. 2007. № 2.
5. Технология продавливания труб [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gnb-service.ru/about/technology/tekhnologiya-prodavlivaniya-trub/> (дата обращения: 22.12.2022).
6. Метод ГНБ прокладки труб [Электронный ресурс]. URL: <https://ognb.ru/articles/tekhnologii-gnb/metod-gnb-prokladki-trub/> (дата обращения: 22.12.2022).
7. Установка продавливания труб УПТ-6 «Геракл»: Завод буровой техники «Гидрофоб». Установки ГНБ от производителя. // <http://zavodgnb.ru/> [Электронный ресурс]. URL: <http://zavodgnb.ru/product/upt-6-gerakl/> (дата обращения: 08.12.2022).

УДК 622.242.5.

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРИЕМНОГО МОСТА

М.Д. Ларионов, студент; Л.А. Гаврилова, доцент
Уральский государственный горный университет.

Представлено сравнение методов подачи бурильных и обсадных труб. Рассмотрены приемные мосты различного конструктивного и технологического исполнения, составлена функционально-конструктивная классификация их конструктивных элементов. Представлены варианты совершенствования автоматизированных приемных мостов с учетом потребностей современных способов бурения нефтяных скважин.

Ключевые слова: Приемный мост, механизированный, автоматизированный, буровая установка, гидравлическая схема, функционально-конструктивная классификация.

TRACKS USING AN EMERGENCY RECEIVING BRIDGE

M.D. Larionov, L.A. Gavrilova

Presents a comparison of the methods of supplying drill pipes and casing pipes. Receiving bridges of various design and technological performance are considered, a functional and constructive classification of their structural elements is made. Options for improving automated receiving bridges are presented, taking into account the needs of modern methods of drilling oil wells.

Keywords: Receiving bridge, mechanized, automated, drilling rig, hydraulic scheme, functional and constructive classification

Проблема подачи бурильных и обсадных труб на площадку буровой установки до сих пор является одной из важных проблем [1, 2].

Существуют следующие схемы подачи труб: лебедочный способ подачи, механизированные и автоматизированные приемные мосты.

Основной задачей исследования было выбрано установление перспективы и вариантов совершенствования наиболее эффективного способа подачи бурильных и обсадных труб на площадку буровой установки.

Использование лебедочного способа подачи заключается в поднятии труб на площадку за счет крана и строп, которыми закрепляют бурильные и обсадные трубы.

Кран подводится к стеллажу, опускается трос и с помощью строп закрепляют трубы, происходит поднятие за счет лебедки, остановка трубы на определенном уровне и удержания ее на весу, далее происходит вращение стрелы крана для подвода трубы на рабочую площадку, опускание и снятие труб с одновременным захватом элеваторным шпунтом.

Для осуществления этого способа необходимо следующее количество рабочего персонала: около двух человек на стеллажах снизу буровой и два – три человека на буровой площадке.

При таком «традиционном» способе процесс подачи сложно механизировать, т.к. он имеет ряд недостатков: большие затраты времени на подачу одной трубы; использование труда рабочих при выполнении основной части процесса; увеличивается опасность травмирования из-за подве-

шенного на высоте груза и непосредственного участия рабочих; все внимание рабочих как на стеллажах, так и на площадке полностью обращено на подачу труб, что не дает возможности совмещать выполнение операции для реализации нескольких процессов одновременно.

Механизированный и автоматизированный приемные мосты являются на порядок технологичнее представленного «традиционного» способа за счет полной механизации и автоматизации процессов подъема и подвода бурильных и обсадных труб [3, 4].

Главное отличие механизированного и автоматизированного приемных мостов: затраты труда рабочего персонала и количество их действий (операций) для достижения конечного результата. Автоматизированный приемный мост имеет преимущество за счет использования определенной «автопрограммы», позволяющей оптимизировать процесс.

В результате исследования [5, 6, 7] составлена функционально-конструктивная классификация лебедочного способа и автоматизированного приемного моста (табл.1).

Таблица 1

Функционально – конструктивная классификация приемных мостков.

Выполняемая функция	Виды исполняемых устройств					
	Кран			Автоматический манипулятор		
<i>Захват БТ</i>	Стропы	Цепи	Замки под муфту	Ножки с пазами под трубу	Ножки Г образного типа	Стопорные клинья
<i>Подъем БТ</i>	Лебедка	Канат	Талевая система	Подъем ножками	Выдвижение ножек из пазов	опускание клиньев
<i>Подвод БТ к манипулятору</i>	Поворот стрелы крана	Поворот с одновременным регулированием высоты подъема трубы		Самопроизвольное скатывание трубы в разъем.		
<i>Закрепление БТ в манипуляторе</i>	Опускание трубы горизонтально к мосткам	Опускание трубы под углом для закрепления одной стороны трубы в паз манипулятора		Упор на ровную поверхность толкателя	Подвод трубы в паз толкателя	Фиксация с помощью крепежей
<i>Подъем манипулятора</i>	Подъем трубы и подвод к рабочей площадке	Подъем трубы с одновременным подводом к манипулятору или к рабочей площадке		с помощью гидроцилиндров горизонтально к рабочей площадке	Без подъема манипулятора	С помощью гидроцилиндров под углом к рабочей площадке
<i>Подвод БТ рабочим органом манипулятора</i>	Подвод трубы сразу в элеватор	Подвод к месту, удобному для работы закрепляющего устройства		Толкателем манипулятора по треку		Телескопической частью манипулятора
<i>Остановка БТ</i>	Тормозная система крана для регулировки скорости поворота			Остановка толкателя		Остановка телескопической части.

Применение функционально-конструктивной классификации (табл.1) позволит найти новые пути совершенствования конструкции оборудования.

Для управления автоматизированным приемным мостом (АПМ) используются системы контроля, за которыми может следить и работать один человек дистанционно, что уменьшает количество ручного труда и увеличивает безопасность рабочего персонала. А это в свою очередь позволяет перераспределить персонал на выполнение других технологических процессов, что также увеличивает эффективность работы буровой установки.

Но при использовании автоматизированного приемного моста необходимо учитывать: дополнительные затраты времени на его транспортировку к месту выполнения работ и монтаж; специальная профессиональная подготовка и квалификация рабочих для управления устройством и обслуживания его систем.

Учитывая возможности АПМ, выделим основные преимущества:

- сокращение времени на подачу труб;
- возможность горизонтального и наклонного перемещения бурильных, обсадных и утяжеленных бурильных труб без увеличения времени на их подъем;
- обеспечение безопасности и повышение эффективности процесса подачи и укладки труб за счет уменьшения человеческого труда;
- дистанционное управление.

На рисунке 1 представлена типовая схема автоматизированного приемного моста. Подъем мачты и регулировка угла наклона осуществляется за счет двух пар гидроцилиндров, которые должны работать параллельно и включаться последовательно или одновременно. При одновременном включении будут настраиваться высота и угол подъема сразу, что уменьшает время работы. А возможность последовательного включения может помочь рабочему в случае неправильного подъема, настроить все самому отдельно от системы. Для подъема мачты сначала работают гидроцилиндры на задних опорах, потом для регулировки угла наклона начинают работу гидроцилиндры на передних опорах, таким образом сначала регулируется высота, а затем угол. Возможен вариант и наоборот, можно начать с угла подъема.

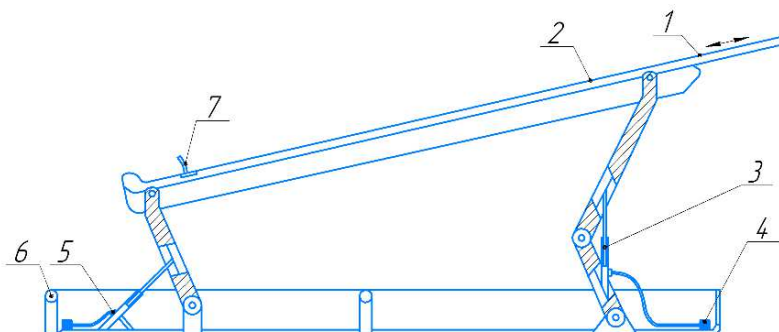


Рис. 1 Автоматизированный приемный мост:

1 – телескопическая часть мачты; 2 – мачта; 3 – гидравлический цилиндр (пара); 4 – насос; 5 – блок подачи жидкости и замера давления; 6 – стойки; 7 – каретка.

Для обеспечения управления цилиндрами приемного автоматического моста предложена гидравлическая схема (рис.2).

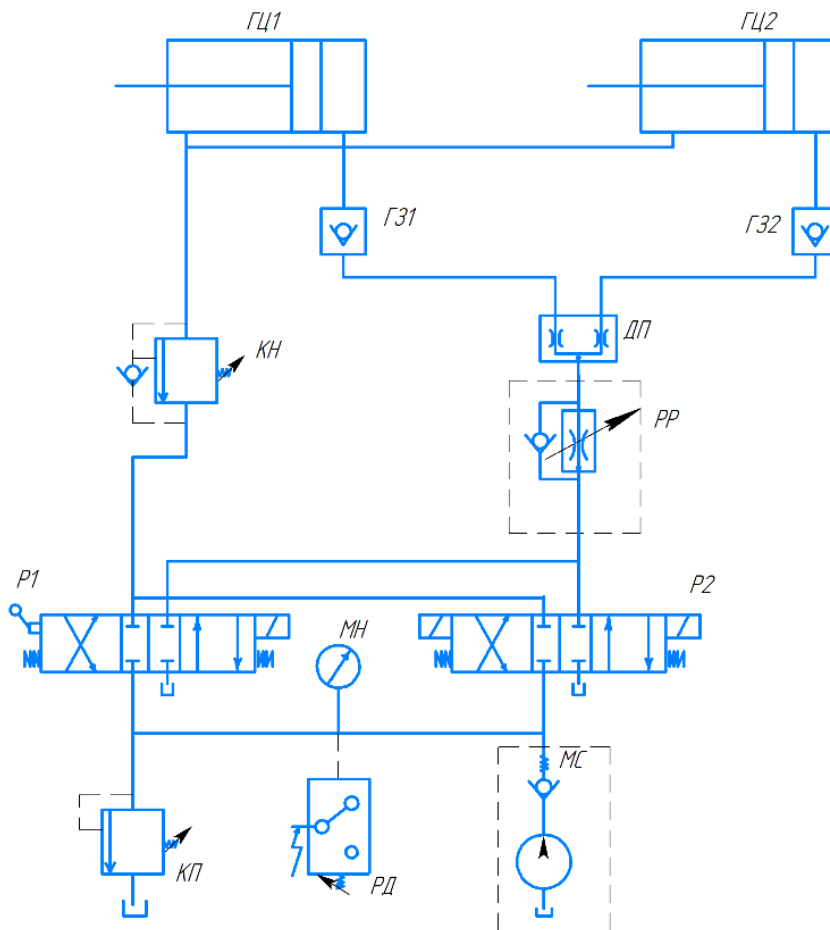


Рис 2. Гидравлическая схема цилиндров приемного автоматизированного моста.

МС – маслостанция с насосом постоянного направления потока; РД – реле давления; КП – клапан предохранительный; МН – манометр; P1, P2 – распределители 1, 2; РР – регулятор расхода; ДП – делитель потока; ГЗ1, ГЗ2 – гидрозамок 1, 2; ГЦ1, ГЦ2 – гидроцилиндр 1, 2; КН – клапан нагнетательный.

делители 1, 2; РР – регулятор расхода; ДП – делитель потока; ГЗ1, ГЗ2 – гидрозамок 1, 2; ГЦ1, ГЦ2 – гидроцилиндр 1, 2; КН – клапан нагнетательный.

Выводы:

Ключевым фактором перехода на использование автоматизированного приемного моста является его возможность обеспечить стабильную скорость подачи труб, безопасность рабочего персонала и снижение затрат времени.

Возможность применения функционального подхода позволит выбрать наиболее совершенную конструкцию для конкретных условий. Например, для встроенных слева и справа от моста стеллажей можно предусмотреть различные варианты захвата для всего спектра используемых труб, как утяжеленных, так и бурильных, и обсадных.

Гидравлическую систему можно модернизировать, увеличив скорость подъема мачты, что очень существенно уменьшит время на подачу труб.

Изменение угла установки гидроцилиндров, уменьшение металлоконструкции самой мачты и увеличение прочности опор позволит увеличить эффективность работы приемного моста и уменьшить затраты.

При совершенствовании нескольких параметров, отвечающих за металлоемкость, привод, подачу масла в полость гидроцилиндра, нахождения более эффективного расположения и угла гидроцилиндров, можно добиться за счет уменьшения используемых гидроцилиндров с четырех до двух, что уменьшит конструкцию и время на установку всего приемного моста и его наладку.

Список литературы

1. Порожский К.П., Мурахтин В.Л., Epshtein V. От перспективных технологий нефтедобычи - к новой буровой технике/ Технологическое оборудования для горной и нефтегазовой промышленности: Сб. трудов XV Международной научнотехнической конференции. Чтения памяти В.Р.Кубачека. – Екатеринбург; Уральский государственный горный университет, 2017. – с. 261-267
2. Асманкин Ю.Н., Гаврилова Л.А. Пути совершенствования конструкции модуля моста приемного/ Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: Сб. трудов XX Международной научно-технической конференции. Чтения памяти В.Р. Кубачека, - Екатеринбург; Уральский государственный горный университет, 2022. – с.145-148.
3. Завархин Е.А., Шестаков В.С. Оптимизация параметров направляющей приемного моста буровой установки /В сборнике: Международная научно-практическая конференция "Уральская горная школа - регионам" Уральская горнопромышленная декада: материалы конференции. УГГУ (2019). с. 233-234.
4. Markelov A., Gavrilova L., Belov S. Features of the tripping mechanization with the horizontal pipe laying// E3S Web of Conferences. Volume 177, 2020. XVIII Scientific Forum "Ural Mining Decade" (UMD 2020). DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017703007>
5. Гаврилова Л.А., Порожский К.П., Эпштейн В.Е. Функциональная систематизация спуско-подъемных комплексов буровых установок/ Совершенствование техники и техн. бурения скважин на тв. ПИ. Вып.19: Межвуз.науч. темат.сб. – Екатеринбург: УГГГА, 1996. – с. 51-67.
6. Гаврилова Л.А. Научно-методологические подходы к совершенствованию бурового оборудования/ Технологическое оборудование для горной и нефтяной промышленности: сборник трудов XVI международной научно-техн. конференции. Чтения памяти В.Р.Кубачека. – Екатеринбург: УГГУ, 2018. – с.176-179.
7. Гаврилова Л.А., Белов С.В. Системный подход при обосновании параметров бурового оборудования/ Технологическое оборудование для горной и нефтяной промышленности: сборник трудов XII международной научно-техн. конференции. Чтения памяти В.Р.Кубачека. – Екатеринбург; УГГУ, 2014. – с.212-213.

УДК 622.242.5.

СИНТЕЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ОСНОВНЫХ МЕХАНИЗМОВ БУРОВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

К.П. Порожский¹, доц., к.т.н., **В.Л. Мурахтин**², начальник отдела проектирования БУ
¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ
²ООО «Уралмаш НГО Холдинг», г. Екатеринбург, РФ

Изложены принципы и результаты синтеза технических решений механизмов буровых установок на основе функционального анализа неадекватных функций в частности строительства скважины и монтажа бурового оборудования

Ключевые слова: буровой технологический комплекс, неадекватные функции, бурение, монтаж, анализ, синтез

SYNTHESIS OF TECHNICAL SOLUTIONS OF THE MAIN MECHANISMS OF THE DRILLING TECHNOLOGICAL COMPLEX

K.P. Porozhsky, V.L. Murakhtin

Outlines the principles and results of the synthesis of technical solutions of drilling rig mechanisms based on the functional analysis of inadequate functions in particular, well construction and installation of drilling equipment

Keywords: drilling technological complex, inadequate functions, drilling, installation, analysis, synthesis

Создание современных буровых технологических комплексов (БТК) для строительства нефтяных и газовых скважин обусловлено развитием технологического процесса разработки месторождения, выбор которого связан как с изменением условий разработки месторождений, так и с совершенствованием методов добычи. Основной тенденцией развития технологий разработки месторождений нефти и газа является применение кустовых методов бурения скважин, как на суше, так и на море. Как правило, это наклонно-направленные скважины (ННС) с горизонтальным окончанием, причём объёмы строительства таких скважин постоянно растут. Это определяет целый комплекс требований к технологии их проходки и буровому оборудованию.

Процесс сооружения скважины можно условно разбить на 4 этапа:

1. Подготовка площадки для размещения оборудования и строительство коммуникаций (дорог, ЛЭП, водоводов).
2. Транспортировка и монтаж бурового и вспомогательного оборудования.
3. Бурение (строительство) скважины или группы скважин.
4. Демонтаж бурового и вспомогательного оборудования на новый объект.

В кустовом бурении при строительстве группы скважин существует ещё этап передвижения буровой установки на новую скважину.

Объём и стоимость работ каждого этапа зависят от назначения и конструкции скважины, условий ведения работ, принятой технологии каж-

дого этапа работ, конструкции и параметров оборудования, используемого для бурения и вспомогательных работ. Конечной задачей создания БТК для заказчика является снижение затрат в совокупности на всех этапах работ.

При синтезе технических решений Н.М. Фейгенсон [1] рекомендует применять следующие шаги:

1. Используя результаты функционального и диагностического анализа, выделить две существенные для технической системы функции с не адекватным уровнем выполнения функций.
2. Сформулировать проблему синтеза следующим образом: "как выполнить обе выбранные функции одним носителем функции?"
3. Сформулировать поисковый образ искомого
4. Произвести функционально - ориентированный поиск идей решения.
5. При необходимости - решить дополнительные задачи адаптации полученной идеи решения.

Для примера рассмотрим уже широко применяемую технологию разработки месторождений кустовым методом. Здесь решена задача снижения затрат сразу на двух этапах строительства скважины:

- уменьшение затрат, относительно каждой скважины в кусте, на сооружение площадки под БТК и строительство коммуникаций;
- почти полное исключение работ на монтаж БТК при перемещении от скважины к скважине в пределах куста. Но при этом увеличивается стоимость бурения, т.к. кустовым методом, как правило, бурят наклонно-направленные скважины, отличающиеся повышенной сложностью. Носителем функции и монтажа, и строительства скважины в данном случае является БТК, совершенство которого определяется величиной затрат вещества и энергии как на его перемещение на новую скважину, так и на её проходку. Затраты на перемещение буровой сведены к минимуму за счёт почти полного исключения монтажно-демонтажных операций с основными механизмами при движении эшелона по направляющим. Что касается процесса проходки скважины, то его эффективность обеспечивается тем, что кустовые буровые позволяют реализовать «конвейерную» технологию проходки скважин в кусте. Также позволяют существенно расширить возможности насыщения необходимым оборудованием, увеличить запас раствора для промывки и энерговооруженность основных исполнительных органов, оснастить их современными системами управления, улучшить условия труда, что в комплексе позволяет повысить точность проводки и увеличить скорость проходки скважины.

Однако осталась нерешённой проблема первичного монтажа буровой установки на кусте, а также монтажа сложных буровых комплексов при строительстве одиночных разведочных скважин. В этой ситуации мы снова видим две неадекватные функции: проходка скважины и первичный монтаж.

Рассмотрим синтез технического решения основных механизмов бурового технологического комплекса для разрешения этой задачи. Для этого выделим две самые существенные для БТК функции:

1. Бурение – как связанный процесс проходки, крепления ствола скважины и СПО.

2. Монтаж – как связанный процесс монтажа-демонтажа и перевозки основного и вспомогательного оборудования БТК.

Выделим в процессе бурения одну достаточно трудоёмкую группу спускоподъёмных операций (СПО), которые занимают в цикле строительства скважины до 50 % времени.

Какие же радикальные пути снижения затрат времени и энергии на СПО существуют? Это, во-первых, снижение доли СПО в бурении за счет увеличения проходки на долото; бурения на обсадных трубах. Во-вторых - это уменьшение времени каждого цикла СПО путём увеличения длины свечи, повышения скорости подъёма, совмещения операций при подъёме во времени. В-третьих - это снижение времени наращивания за счёт применения СВП и средств механизации работы с трубами (механизированный мост, буровой ключ-робот и др.), что зачастую ведёт к уменьшению аварийности и трудоемкости. Однако механизация СПО ведёт к усложнению конструкции установки и снижению её монтажеспособности [2].

Решение этой задачи может быть осуществлено различными способами. Рассмотрим реализацию указанных противоречий несколькими зарубежными изготовителями бурового оборудования в компактных мобильных буровых установках (Highly Mobile Rig) с высокой степенью механизации и автоматизации [3,4,5,6].

Анализ их конструкций позволил выявить общие признаки:

1. Силовой верхний привод (СВП) интегрирован в вышку (балкон верхового отсутствует). Такое решение позволяет совместить монтаж мачты и СВП, а также исключить затраты времени на монтаж балкона верхового рабочего.

2. БТК оснащён механизированными мостками для подачи труб, что позволяет исключить присутствие человека в опасной зоне и уменьшить время цикла подачи труб в процессе наращивания и разборки буровой колонны.

3. Контейнерное исполнение модулей позволяет осуществлять перевозку и монтаж модулей в габаритах стандартного контейнера, каркас которого выполняет функции несущей рамы, со встроенными укрытиями, коммуникациями и крепежными контейнерными фитингами.

4. Применение СВП с реечной подачей, позволяет исключить из состава установки буровую лебедку и талевую систему, а также часть верхней секции вышки с кронблоком, что приводит к уменьшению длины мачты (при бурении однострубка) и повышению её монтажеспособности, а также уменьшению аварийности при бурении и СПО.

5. Исключение ручной расстановки бурового инструмента, за счёт применения роботов-манипуляторов, позволяет исключить присутствие человека в опасной зоне и снизить время цикла СПО.

Комплексное решение этих задач позволит создать принципиально новую компоновку оборудования, позволяющую снизить количество модулей и общую массу установки, что, в конечном счёте, приведёт к уменьшению трудоёмкости и времени монтажа при условии сохранения производительности во время бурения. В отечественной практике комплекс представленных задач еще не решен, что говорит об актуальности темы, особенно в условиях импортозамещения.

Механизмами, которые могут осуществить и ускорить обе технологические функции в буровой установке, являются силовой верхний привод (СВП) с реечной подачей, встроенный в вышку, и роботоманипулятором, а также комплекс средств механизации для ускоренного монтажа или самомонтажа. Целесообразна взаимная интеграция узлов в обособленный набор механизмов для разбивки на компактные модули, пригодные для перевозки в габаритах стандартного контейнера.

Создание таких БТК в современных условиях стало целесообразным и возможным благодаря разработке породоразрушающего инструмента с большим ресурсом, применения технологии бурения на обсадных трубах, что позволяет уменьшить высоту, массу мачты, а в итоге снижает время монтажа и транспортирования БТК. При этом скорость бурения практически не снижается, не смотря на уменьшение длины свечи [7].

Считаем, что дальнейшая работа по систематизации и поиску путей интеграции функций с использованием инструментов системного анализа и синтеза сложных технических систем позволит определить оптимальное компоновочное решение БТК для разных условий бурения.

Список литературы

1. Фейгенсон Н.Б. Совершенствование инструментов анализа и синтеза технических систем, находящихся на третьем этапе эволюции. Диссертационная работа на звание Мастера ТРИЗ. — СПб.: 2008. — 47 с.
2. Буровые комплексы/ под общ. ред. К.П. Порожского. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2013. – 768 с.
3. <https://www.nov.com/products/land-drilling-rigs>
4. <https://www.huismanequipment.com/en/products/drilling/land-drilling-rigs>
5. <https://www.bentec.com/rigs/special-rigs/special-rigs>
6. <https://www.nabors.com/for-contractors-ofs/canrig-robotics>.
7. Порожский К.П., Мурахтин В.Л., Эпштейн В.Е. От перспективных технологий нефтедобычи - к новой буровой технике. В сб. трудов XV Международной научно-технической конференции. Чтения памяти В.Р. Кубачека. – Екатеринбург; Уральский государственный горный университет, 2017, с.238-244

УДК 622.238

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ ЧАСТИЦ В ПСЕВДООЖИЖЕННОМ СЛОЕ

В.Я. Потапов, проф., В.В. Потапов, доц., П.А. Костюк, ст. пр.,
Н.И. Кожухов, асс.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ

Методика исследования поведения частиц в псевдоожигженном слое позволила определить рациональные скорости транспортирования сыпучих материалов из загрузочного устройства.

Ключевые слова: псевдоожигженный материал, принцип псевдоожигжения пористая перегородка, аэрирующий газ, коэффициент сопротивления, трения

INVESTIGATIONS OF THE BEHAVIOR OF PARTICLES IN A FLUIDIZED BED

V.Ya. Potapov, V.V. Potapov, P.A. Kostuk, N. I. Kozhuhov

The method of studying the behavior of particles in a fluidized bed made it possible to determine the rational rates of transportation of bulk materials from the loading device.

Keywords: fluidized material Fluidization principle porous partition aerating gas coefficient of friction resistance.

Псевдоожигженный материал отличается, прежде всего, тем, что при увеличении его объема частицы отделяются друг от друга под действием протекающего газа, вследствие чего внутреннее трение в слое снижается настолько, что он приобретает свойства жидкости [1, 2, 3].

Образование псевдоожигженного слоя можно, в простейшем случае, представить себе следующим образом. В вертикальном сосуде цилиндрической формы, снабженном поперечной газопроницаемой поддерживающей пористой перегородкой в виде сетки, помещается слой мелкозернистого твердого материала. При подаче через сетку снизу-вверх потока газа с малой скоростью слой остается неподвижным.

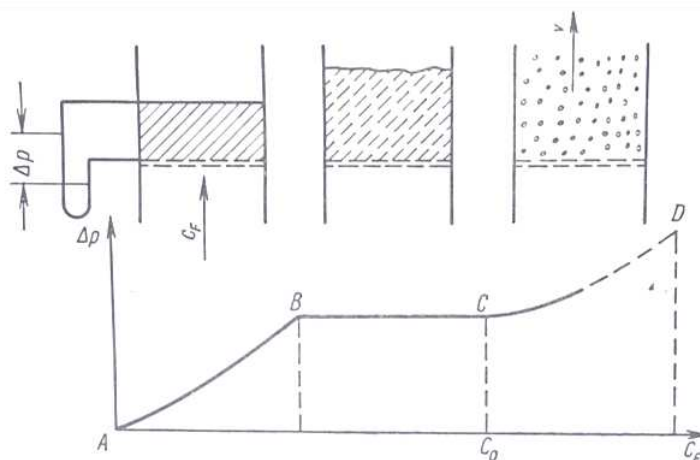


Рис. 1. Принцип псевдоожигжения

При увеличении скорости объем неподвижного слоя материала в какой-то момент начинает "нарастать", а его частицы начнут отделяться друг

от друга, но двигаться ещё не будут, образуется псевдооживленный слой (рис. 1, кривая А-В) [2].

В псевдооживленном состоянии перепад давления постоянен, он не зависит от скорости газа (рис. 1, кривая В-С). Увеличение скорости влияет только на увеличение объема псевдооживленного слоя.

Когда скорость газа повысится и превысит скорость витания частиц, поток воздуха уносит их и система переходит к пневматическому транспортированию материала во взвешенном состоянии. Перепад давления увеличивается на величину сопротивления вызываемых движением частиц в направлении потока газа (рис. 1, кривая С-Д).

Рассмотрим поведение частиц материала в сосуде с пористыми перегородками.

Если газ не проходит, то на этот слой действует вес и реакция пористого основания R_{Π} .

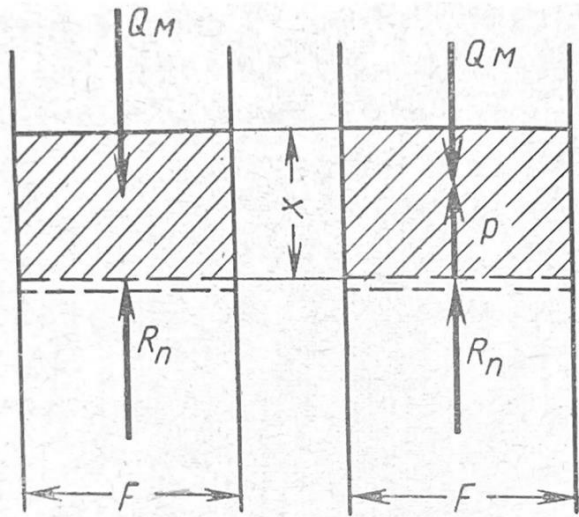


Рис. 2. Силы, действующие на слой, лежащий на пористой перегородке.

$$R_{\Pi} = Q_M \quad (1)$$

где Q_M - вес частиц материала, кг; R_{Π} - величина реакции дна пористой перегородки.

При проходе через слой материала газ преодолевает сопротивление, вызываемое трением у поверхности частиц материала в тонких каналах. В слое создается перепад давления. На слой материала действует дополнительно и напорная сила P (рис. 2).

Величина реакции дна пористой перегородки определяется из уравнения равновесия:

$$R_{\Pi} = Q_M - P = Q_M - F(p_1 - p_2), \quad (2)$$

где F - сечение сосуда, м²; p_1 - давление под слоем непосредственно над перегородкой, Па; p_2 - давление над уровнем слоя, Па.

Установлено, что для осуществления псевдооживления слоя материала большое значение имеет пористая перегородка. Она служит постелью

для материала и обеспечивает возможность надлежащего рассеивания аэрирующего газа по слою.

При прохождении газа через эту перегородку образуется перепад давлений $\Delta p = p_1 - p_2$, зависящий от скорости газа. В общем виде перепад определяется по формуле:

$$\Delta p = k_r'' \frac{\theta C^2}{F 2g} \gamma_r l \quad (3)$$

где k_r'' - коэффициент сопротивления трения, зависит от числа Рейнольдса; θ - обтекаемый контур; F - площадь частицы материала, m^2 ; C - скорость транспортируемого газа, m/c ; γ_r - плотность транспортирующего газа, kg/m^3 ; l - длина канала решетки, m .

Результаты исследования по определению высоты псевдооживленного слоя с использованием материала различной крупности были проведены на установке Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина (рис. 3) [3].

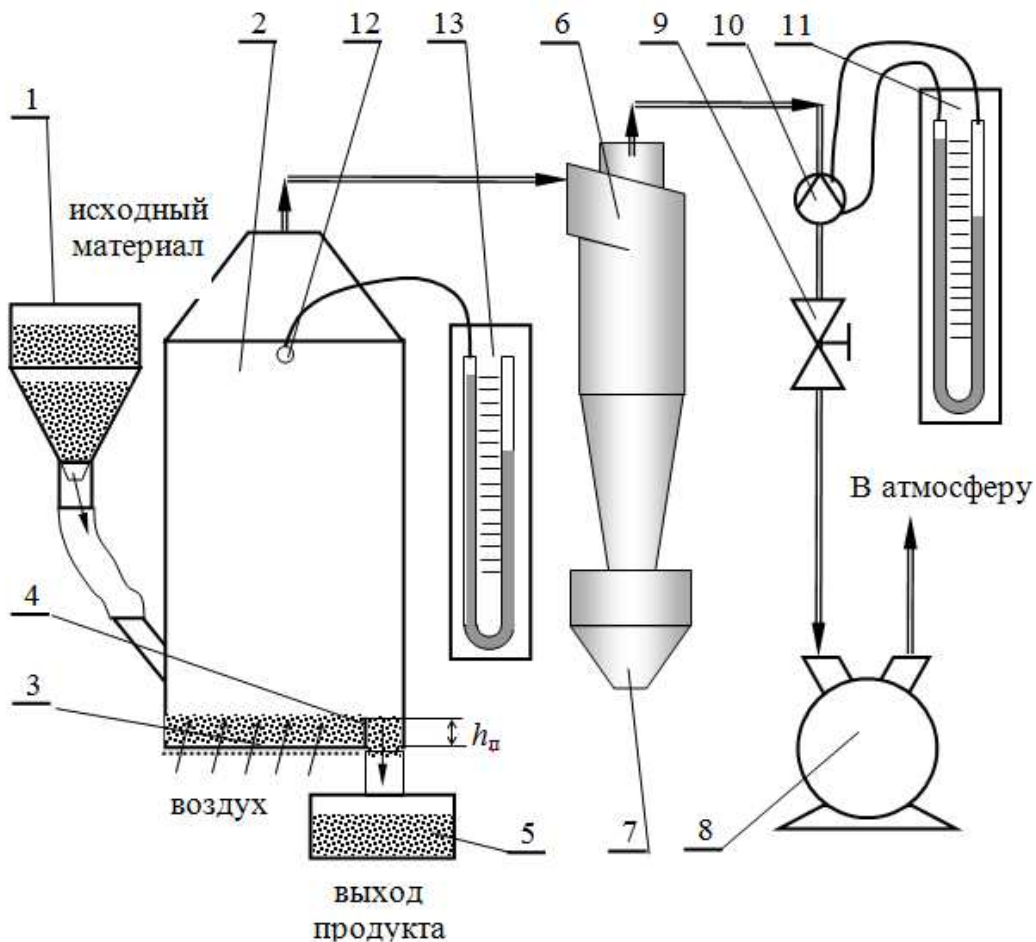


Рис. 3. Схема лабораторной установки кипящего слоя

Лабораторная установка включает бункер 1, калибровочный конус 2 для регулировки производительности подачи материала, сушило 3 со сменной перфорированной решеткой 4, бункер 5 для сбора готового материала, циклон 6 для очистки воздуха, бункер 7 для сбора уловленной пыли,

водокольцевой насос 8 для создания разрежения и расхода воздуха через аппарат, задвижку 9 для регулировки расхода воздуха, сегментную диафрагму 10 и U-образный водяной манометр 11 и 13 импульсную трубку 12.

На рис. 4 представлен общий вид камеры для создания псевдооживленного слоя с газопроницаемой поддерживающей пористой перегородкой.



Рис. 4. Камера для создания псевдооживленного слоя с газопроницаемой поддерживающей пористой перегородкой

Основные параметры камеры аппарата и свойства исследуемого материала, а также результаты по оценке псевдооживленного слоя приведены далее.

Размеры аппарата: длина $L = 0,355$ м; ширина $B = 0,06$ м; площадь $F = 0,0213$ м².

Характеристики исследуемого материала приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики исследуемого материала

Наибольший диаметр частиц, $d_{max}, мм$	Наименьший диаметр частиц, $d_{min}, мм$	Средний диаметр частиц, $d_{cp}, мм$	Порозность неподвижного слоя, ϵ	Масса транспортируемого материала m , кг	насыпная плотность ρ_n , кг/м ³	кажущаяся плотность ρ_k , кг/м ³
0,85	0.425	0,638	0.44	91	1213,3	2167

Порозность неподвижного слоя определяется по формуле:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho H}{\rho k} \quad (4)$$

Предварительно были проведены замеры на чистой решетке (табл. 2) (без транспортируемого материала) со следующими параметрами: dH – сопротивление решетки

Таблица 2

Экспериментальные результаты на решетке без материала

Перепад давлений на диафрагме d_d , мм. в.с.	Сопротивление решетки, d_H , Па	Производительность установки Q , м ³ /ч	Рабочая скорость транспортирования W , м/с	Диаметр отверстий решетки, мм	Шаг отверстий, мм	Количество отверстий, N	Площадь живого сечения, $S_{ж}$, %
20,0	70,0	162,9	2,12	2	7	495	5,8
24,30	73,5	179,6	2,34	2	7	495	5,8

После снятия контрольных параметров были проведены опыты с материалом (табл. 3)

Таблица 3

Экспериментальные результаты на решетке с материалом

Перепад давлений d_d , мм. в.с.	Сопротивление решетки, d_H , Па	Производительность установки Q , м ³ /ч	Рабочая скорость транспортирования W , м/с	Высота «кипящего» слоя $H_{сл}$, мм	Диаметр отверстий решетки, мм	Шаг отверстий, мм	Количество отверстий, N	Площадь живого сечения, $S_{ж}$, %
6	460	89,2	1,16	50	2	7	495	5,8
7	530	96,4	1,26	70				
9	800	109,3	1,43	100				

Результаты исследований по оценке псевдооживленного слоя позволили определить рациональные скорости транспортирования сыпучих материалов из загрузочного устройства лежит в пределах $w = 1,5-2,5$ м/с. В свою очередь аэродинамическое сопротивление при высоте загрузочного слоя 50 мм потери давления лежат в пределах от 820 до 1100 Па, а при высоте слоя 100 мм - возрастают до 2000-2500 Па.

Список литературы

1. Урбан Я. Пневматический транспорт // Пер. с чеш. /Под ред. Л.М. Шведова. – М.: Машиностроение, 1967. – 256 с. – Библиогр.: с. 253.
2. Давыдов С.Я. Закономерности пневмоподъема псевдооживленного материала / С.Я. Давыдов, С.Н. Сычев // Новые огнеупоры. – 2011 г. – № 3. – С. 33-34.
3. Шишкин, А. С. Гранулометрический состав дисперсных материалов: учебное пособие / А. С. Шишкин, С. Ф. Шишкин. — Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. — 126 с.

УДК 622.245

ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА БУРЕНИЯ БОКОВЫХ СКВАЖИН КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТОВ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

С.У. Галлямов¹, К. Р. Уразаков², д-р тех. наук, профессор

¹ООО НПП «БУРИНТЕХ»,

²ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной университет», г. Уфа, РФ

Отмечается, что среди современных методов по разработке нефтяных скважин бурение боковых стволов позволяет решить большой спектр проблем, связанных с разведочными работами на месторождении. Авторы также акцентируют внимание на том, что в процессе бурения боковых стволов в разработку вовлекаются ранее не задействованные участки пласта, а также трудноизвлекаемые запасы нефти, добыча которых ранее не представлялась возможной.

Ключевые слова: боковой ствол, нефтяная скважина, бурение боковых стволов, повышение нефтеотдачи пластов нефтяных месторождений

ADVANTAGES OF USING THE METHOD OF DRILLING SIDE WELLS AS A PROMISING WAY TO INCREASE OIL RECOVERY OF OIL FIELDS

S.U. Gallyamov, K. R. Urazakov

Note that among the modern methods for the development of oil wells, drilling of side shafts allows solving a wide range of problems associated with exploration work at the field. The authors also emphasize that in the process of drilling side shafts, previously unused sections of the reservoir are involved in development, as well as hard-to-recover oil reserves, the extraction of which was not previously possible.

Keywords: lateral trunk, oil well, drilling of lateral trunks, enhanced oil recovery of oil fields

Бурение боковых стволов является важным процессом, позволяющим продлить или дать новую жизнь скважинам, которые были оставлены по техническим и экономическим причинам. Путём бурения боковых стволов в разработку вовлекаются ранее не задействованные участки пласта, а также трудноизвлекаемые запасы нефти, добыча которых ранее не представлялась возможной [5].

Как отмечают специалисты, в процессе бурения скважины возможно, что ее ствол не пройдет через все продуктивные зоны, расположенные на разных глубинах пласта. Это может произойти преднамеренно или случайно на разных глубинах. При переинтерпретации данных скважин можно обнаружить дополнительные продуктивные зоны на разных глубинах, которые имеют значительные запасы нефти [6].

Среди современных методов по разработке нефтяных скважин бурения боковых стволов позволяет решить большой спектр проблем, связанных с разведочными работами на месторождении, добыче из труднодоступных мест, текущим и капитальным ремонтом, а также реконструкцией

скважин после длительной добычи полезных ископаемых. Технология бурения боковых стволов скважин подразумевает несколько способов осуществления работ, которые выбирают, исходя из геологических характеристик залежей и финансово-экономических возможностей. Все работы, проводимые на месторождениях, достаточно быстро окупаются, так как это обходится гораздо меньше в стоимости, чем бурить новую скважину.

Мы разделяем мнение специалистов о том, что метод бурения боковых стволов из старого фонда скважин является одним из самых перспективных способов повышения нефтеотдачи пластов нефтяных месторождений [2].

Технология бурения боковых стволов скважин является одним из самых продуктивных методов, который позволяет повысить добычу нефтепродуктов на залежах с давней историей разработки и продолжить эксплуатацию скважин, не поддающихся восстановлению иными способами. Создание боковых стволов позволяет вовлечь в добычу не задействованные слои и участки, обеспечивает доступ к трудным локальным скоплениям полезных ископаемых, которые нельзя достать путем вертикального бурения.

Способ бурения бокового ствола нефтяной скважины включает сплошное вырезание интервала эксплуатационной колонны и цементного камня цилиндрической формы сверху и усеченного конуса снизу, изоляцию интервала расширения путем установки легкоразбуриваемой вставки из мягкого металла цилиндрической формы длиной более длины интервала вырезания, в верхней части которой выполнен канал, закачивание в интервал расширения твердеющего герметизирующего состава, разбуривание после его полимеризации легкоразбуриваемой вставки, установку в основном стволе временного цементного моста ниже точки зарезки бокового ствола и клина-отклонителя, разбуривание бокового ствола через затвердевший герметичный состав, бурение бокового ствола из основного, открывание основного ствола разбуриванием клина-отклонителя и временного цементного моста. Сплошное вырезание интервала эксплуатационной колонны и цементного камня производят в вертикальной части ствола скважины. Легкоразбуриваемая вставка имеет центральный канал, сверху закрытый легкоразрушаемой мембраной. Разбуривание легкоразбуриваемой вставки проводят фрезой, нижний конец которой снабжен направляющей цилиндрической формы с диаметральным размером, позволяющим перемещаться внутри центрального канала по классу широкоходовой посадки, а верхняя часть фрезы снабжена центраторами. Обеспечивается разбуривание бокового ствола при сохранении основного в условиях герметичности и исключения заколонных перетоков [3].

В пользу данного метода говорит тот факт, что бурение бокового ствола из существующей скважины позволяет продолжать использовать ее наземное оборудование и средства для дальнейшей добычи нефти и газа.

Если тщательно изучить эту технологию, можно извлечь до 50 % от начальных запасов нефти [4].

В настоящее время наибольшее распространение получили методы забуривания бокового ствола из обсаженной эксплуатационной колонны вертикальных скважин: – вырезка секции в обсадной колонне с последующей врезкой бокового ствола; – прорезка «окна» в обсадных колоннах с помощью вырезающих фрез от устанавливаемого клина-отклонителя с последующей зарезкой бокового ствола скважин от этого клина-отклонителя [1].

В рамках статьи представляем способ бурения бокового ствола нефтяной скважины, который включает сплошное вырезание интервала эксплуатационной колонны и цементного камня цилиндрической формы сверху и усеченного конуса снизу, изоляцию интервала расширения путем установки легкоразбуриваемой вставки из мягкого металла цилиндрической формы длиной более длины интервала вырезания, в верхней части которой выполнен канал, закачивание в интервал расширения твердеющего герметизирующего состава, разбуривание после его полимеризации легкоразбуриваемой вставки, установку в основном стволе временного цементного моста ниже точки зарезки бокового ствола и клина-отклонителя, разбуривание бокового ствола через затвердевший герметичный состав, бурение бокового ствола из основного, открывание основного ствола разбуриванием клина-отклонителя и временного цементного моста.

Сплошное вырезание интервала эксплуатационной колонны и цементного камня производят в вертикальной части ствола скважины. Легкоразбуриваемая вставка имеет центральный канал, сверху закрытый легкоразрушаемой мембраной. Разбуривание легкоразбуриваемой вставки проводят фрезой, нижний конец которой снабжен направляющей цилиндрической формы с диаметральным размером, позволяющим перемещаться внутри центрального канала по классу широкоходовой посадки, а верхняя часть фрезы снабжена центраторами. Обеспечивается забуривание бокового ствола при сохранении основного в условиях герметичности и исключения заколонных перетоков [6].

Таким образом, бурение дополнительных, боковых или вторых стволов в скважинах получило широкое распространение во всех нефтяных регионах России как один из эффективных методов увеличения нефтеотдачи пластов в условиях падающей добычи нефти и перехода многих месторождений на позднюю стадию разработки.

Список литературы

1. Абдо Т.А.А. Особенности зарезки боковых стволов как метод повышения нефтеотдачи // В сборнике: Научное сообщество студентов XXI столетия. Естественные науки. Новосибирск, 2021 – С. 4-14.

2. Антонова Е.Н. Бурение боковых стволов на примере Уренгойского газоконденсатного месторождения // Технические науки: традиции и инновации (II): материалы междунар. науч. конф. (г. Челябинск, октябрь 2013 г.). – Челябинск: Два комсомольца, 2013 – 92 с.– С. 79 - 83.

3. Габдуллин В.М., Салех Т.М.М., Ахмед М.А.С., Мохаммед М.М.К. Особенности резки боковых стволов как метод повышения нефтеотдачи // В книге: Сборник тезисов X Международной научно-практической конференции – Ижевск. 2020 – С. 295-300.

4. Инструкция по испытанию обсадных колонн на герметичность / научно-исследовательская работа. Институт разработки и эксплуатации нефтепро-мысловых труб - М., 1999 – 36 С. 15

5. Павельева О.Н., Басов А.О., Павельева Ю.Н. Бурение боковых стволов как метод повышения нефтеотдачи пласта в нефтяных скважинах // Булатовские чтения. 2017– Т. 3. С. 206-208.

6. Уразаков К.Р., Собинов В.М., Молчанова В.А., Галлямов С.У. Способ бурения бокового ствола нефтяной скважины // Патент на изобретение RU 2704081 С1, 23.10.2019. Заявка № 2018146928 от 26.12.2018.

7. Ханипова Р.Р. Метод бурения боковых стволов // Профессиональные коммуникации в научной среде-фактор обеспечения качества исследования – Сборник материалов XI Всероссийской научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2022 – С. 136-138.

8. Щербина Г.С. Горный англо-русский словарь // Изд-во: Сибирский государственный индустриальный университет (Новокузнецк). 2014 – 306 с.

УДК 622. 245

ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РАЗВЕДОЧНОГО БУРЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЗАКОНА КОМПОЗИЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

С.Г. Фролов, проф., В.Я. Потапов, проф., В.В. Потапов, доц., А.В. Соколова, асс.,
Р.В. Соколов, асс.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ

Под системным подходом (системным анализом) в настоящее время понимается особый, утвердившийся в науке в конце 40-х годов взгляд на природу и сущность явлений природы, техники, общества. Единого свода принципов или правил системного анализа, как и строгих определений ключевых понятий (система, целостность) в настоящее время нет.

Ключевые слова: бурение, системный анализ, керн, трещиноватость, технология, материал, проба.

PRINCIPLES OF THE RATIONAL ORGANIZATION OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF EXPLORATION DRILLING BASED ON THE LAW OF THE COMPOSITION OF THE TECHNOLOGICAL SYSTEM

S.G. Frolov, V.Ya. Potapov, V.V. Potapov, R.V. Sokolov, A.E. Sokolov

Under the system approach (system analysis) at the present time is understood a special view, confirmed in science in the late 40s, on the nature and essence of the phenomena of nature, technology, society. A single set of principles or rules of system analysis, as well as strict definitions of key concepts (system, integrity) is currently not available.

Keywords: drilling, system analysis, core, fracture, technology, material, sample.

Анализ существующих теоретических концепций подходов и методик системного анализа, применяющихся в различных предметных областях [1-5] позволяет трактовать системный подход как конкретизацию принципов диалектики в соответствии с особенностями предметной области – в соответствии с особенностями разведочного бурения.

Задачей работы является обоснование принципов системного анализа технологической результативности средств бурения или конкретно-диалектического метода исследования технологической проблематики. Использовались принципы общей теории систем Ю. Урманцева [6].

В разведочном бурении известны работы, основанные на использовании в той или иной степени принципов системности и методов системного анализа, посвященные решению отдельных технологических проблем / 5/. Большое число примеров стихийной реализации системного подхода дает практика технологической организации буровых работ.

В определенной степени принцип системности реализуется фасетными технологическими классификациями. Например, если категория пород по трудности отбора керна [2] определяется целостной совокупностью

некоторых характеристик T , K , ρ_n , то каждая из этих характеристик по отдельности не имеет определенности по отношению к трудности отбора керна (может представлять различные поля классификации). В то же время отсутствие хотя бы одной характеристики, входящей в целостную совокупность, лишает смысла и определенности все другие характеристики.

Технологическим примером может служить исследование зависимостей выхода керна от трещиноватости пород, выхода керна от частоты вращения снаряда, выхода керна от интенсивности промывки и т.д.

В основе традиционно-эмпирического подхода к технологии геологоразведочного бурения лежит метод аналогии. В разведочном деле до настоящего времени метод аналогии реализуется в виде жестких технологических регламентов, когда определенному типовому объекту, выделенному по совокупности известных диагностических признаков, ставятся в соответствие определённые средства бурения, представляющие

Технологические рецепты не предусматривают полного и всестороннего обоснования составляющих их технико-технологических решений, являются жесткими, не допускают замен технико-технологических решений, не предусмотренных рецептом.

Система технологии в этом случае имеет свернутый вид: типу объекта соответствует способ бурения, как целое целому без раскрытия взаимосвязей между их элементами, без обоснования причин соответствия. Взаимодействуя как целое с целым, объекты и средства бурения обеспечивают разный результат взаимодействия в зависимости от состава свойств объекта и свойств средств бурения, образующих внутреннюю структуру их содержания.

Иначе говоря, технологию разведочного бурения составляет совокупность средств (устройств, материалов, приемов, действий), целесообразно организованных для решения задач разведки: получения проб, сети разведочных пересечений и других материальных форм, позволяющих выполнять замеры, анализы и наблюдения, необходимые для геолого-промышленной оценки объекта.

Для создания системной математической модели управления технологическим процессом разведочного бурения необходимо выделить структуру взаимосвязей между различными факторами технологического процесса.

Процесс бурения представляет собой последовательную смену технологических ситуаций, условием реализации каждой из которых является целостная совокупность геологических и технико-технологических факторов. Под технологической ситуацией понимается факт характерного протекания процесса бурения: плавное или резкое выколаживание, выкручивание или сохранение прямолинейности трассы скважины, самозаклинивание керна, его истирание в колонковой трубе, прижог или заполирование коронки и т.д.

С точки зрения системного подхода результативный технологический процесс можно представить в виде канонической системы, закон композиции которой приведен на рис. 1.

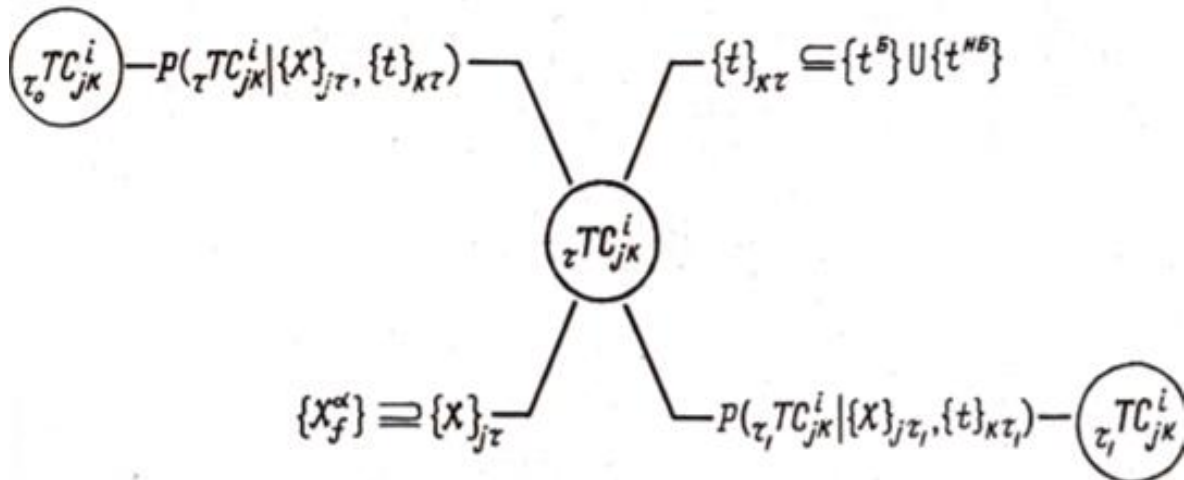


Рис. 1. Закон композиции технологической системы

В качестве системообразующего элемента рассматривается технологическая ситуация τTC_{jk}^i , соответствующая текущему моменту времени τ , на формирование которой оказывает влияние:

а. $\{X\}_{j\tau}$ – сочетание конкретных значений геолого-технических факторов, формируемое из общего множества возможных значений характеристик объекта $\{X_f^\alpha\}$;

б. $\{t\}_{k\tau}$ – конкретное сочетание технико-технологических факторов, формируемое из общего множества благоприятных $\{t^B\}$ и неблагоприятных $\{t^{NB}\}$ факторов:

в. $\tau_0 TC_{jk}^i$, – рассматриваемая технологическая ситуация в предшествующий момент времени τ_0 ($\tau_0 < \tau$), переход которой в анализируемую ситуацию возможен с вероятностью, определяемой формулой Байеса

$$P(\tau TC_{jk}^i | \{X\}_{j\tau}, \{t\}_{k\tau}) = \frac{P(\tau_0 TC_{jk}^i) \prod_{j,k} P(\{X\}_{j\tau_0}, \{t\}_{k\tau_0} | \tau_0 TC_{jk}^i)}{\sum_{i=1}^n P(\tau_0 TC_{jk}^i) \prod_{j,k} P(\{X\}_{j\tau_0}, \{t\}_{k\tau_0} | \tau_0 TC_{jk}^i)}, \quad (1)$$

где $P(\{X\}_{j\tau}, \{t\}_{k\tau} | \tau TC_{jk}^i)$ – условная вероятность наступления i -ой технологической ситуации при условии, что реализовалось j -ое сочетание значений геолого-технологических факторов и использовалось k -ое технико-технологическое решение.

Систематизированные таким образом характеристики свойств элементов системы «объект – средства разведки – результат» объединяются в систему матриц логических отношений. В систему матриц входят следующие матричные выражения:

1) совокупность факторов отдельной технологической ситуации может быть представлена строкой – матрицей вида

$$TC^i = [r_i\{x\}_i \dots, r_i\{x\}_n, r_i\{t\}_i, \dots, r_i\{t\}_n], \quad (2)$$

где r_i – логические отношения соответствия (r_0 – соответствие, r_1

– несоответствие).

Тогда для всей совокупности анализируемых технологических ситуаций имеем общую матрицу вида

$$M_{TC} = \begin{matrix} \{x\}_i, \dots, \{x\}_n, \{t\}_i, \dots, \{t\}_n \\ TC^1 \begin{bmatrix} r_i \dots r_i & r_i \dots r_i \\ \dots & \dots \\ r_i \dots r_i & r_i \dots r_i \end{bmatrix} \\ TC^k \begin{bmatrix} r_i \dots r_i & r_i \dots r_i \\ \dots & \dots \\ r_i \dots r_i & r_i \dots r_i \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3)$$

2) матрица вероятностей реализации отдельной технологической ситуации имеет вид

$$\begin{matrix} \{t\}_1, \dots, \{t\}_k, \dots, \{t\}_m \\ \{x\}_1 \begin{bmatrix} P_{11} & \dots & P_{1k} & \dots & P_{1m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{j1} & \dots & P_{jk} & \dots & P_{jm} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & \dots & P_{nk} & \dots & P_{nm} \end{bmatrix} \\ \{x\}_j \\ \dots \\ \{x\}_k \end{matrix}, \quad (4)$$

где P_{jk} – вероятность i -ой технологической ситуации, возникающей при реализации j -ой геолого-технологической ситуации и использовании k -го технико-технологического решения.

Закон композиции технической системы позволяет отразить динамику развития технологического процесс, учитывая зависимость вероятности каждого перехода технологической ситуации от непосредственно предшествующего состояния технологической системы. Информация данного вида особенно важна при решении задач управления технологическим процессом разведочного бурения в условиях неопределенности, что соответствует протеканию процесса бурения в действительности.

Включение в анализ ЭВМ позволяет моделировать множество возможных вариантов развития технологического процесса, учесть взаимовлияние отдельных элементов средств бурения и возможные последствия технико-технологических решений с учетом их вероятности, соответствующей экспертным данным о вероятности отдельных факторов. Параллельно осуществляется анализ возможных последствий в отношении выхода керна, открытости и доступности ствола скважины для геофизических исследований, степени его кольматации, размеров вещественных проб и т.д., в соответствии с целостной системой требования к результатам бурения. Этим достигается непротиворечивость технологических решений в отношении конечных целей буровых работ.

На рис. 2 представлена схема методики технологического анализа. Поясним ее. Признаки строения объекта, характеристики условий бурения (X_1, X_f, X_c) в системе технологического опыта сами могут быть охарактеризованы в каждом конкретном случае некоторой вероятностью возможной реализации $P(X_1^m), P(X_f^\alpha), P(X_c^\varphi)$.

Рассматривая массив исходных данных о вероятности отдельных признаков строения объектов (трещиноватость, буримость, крутизна залегания пород на различных глубинах и т.д.), ЭВМ оценивает вероятность их соче-

таний на основе формулы Байеса и дает количественные характеристики приоритетности тех или иных значимо различающихся в технологическом отношении геологических ситуаций:

$$\{X\}_1 - P\{X\}_1, \dots \{X\}_j - P\{X\}_j, \dots \{X\}_N - P\{X\}_N.$$

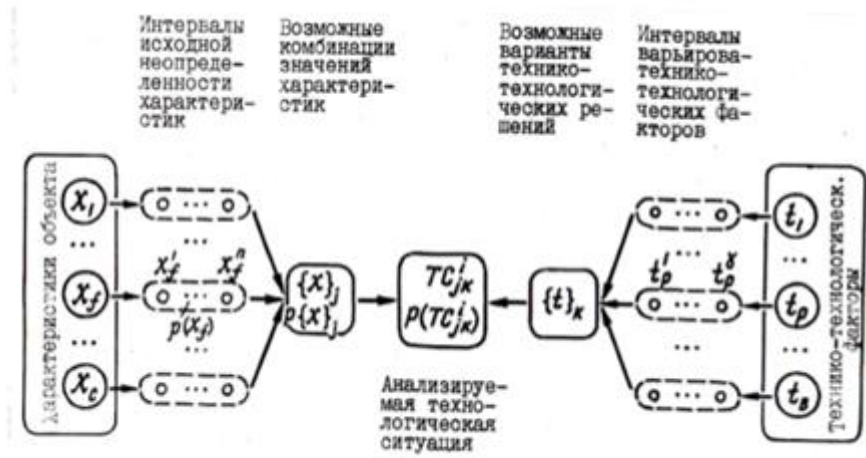


Рис. 2. Схема методики технологического анализа

Далее каждой геологической ситуации по опыту ставится в соответствие вероятность возникновения той или иной технологической ситуации (плавное или резкое выположивание, выкручивание скважины, самозаклинивание керна, его истирание в колонковой трубе и т.д.): $TC_{jk}^1 - P(TC_{jk}^1), \dots, TC_{jk}^i - P(TC_{jk}^i), \dots, TC_{jk}^y - P(TC_{jk}^y)$, возникающей при использовании конкретного технико-технологического решения $\{t\}_1, \{t\}_k, \{t\}_m$.

Закон композиции технологической системы явился основой для разработки алгоритма методики управления технологическим процессом разведочного бурения и методики принятия рациональных технико-технологических решений в процессе бурения.

Список литературы

1. Болдинг К. Общая теория систем – скелет науки // Исследования по общей теории систем. – М., 1969.
2. Ошкордин С. В., Мецгер А. А. Современные методы оценки качества производственных процессов и возможности их применения в разведочном бурении. – Рук. деп. в ВИНТИ 24.08.84, № 1347-В 84. – 18 с.
3. Ошкордин С. В., Мецгер А. А., Фролов С. Г. Агоритмизация содержания технологии разведочного бурения на основе системного подхода. – Деп. ВИНТИ 07.02.90, « 685-В90. – с. 10.
4. Сачков В. Н. Вероятностные методы в комбинаторном анализе. – М.: Наука, 1978.
5. Фролов С. Г. Математический аппарат решения задачи по выработке технико-технологических решений при проектировании направленных скважин. – Деп. в ВИНТИ 19.02.92. № 576-В92. – с. 15.
6. Урманцев Ю. А. Общая теория систем: проблемно-теоретический очерк для геологов и минералогов. – М.: МИНГ, 1986. – с. 10.

УДК 622.276

РАЗРАБОТКА СКВАЖИННОГО КОНТЕЙНЕРА ДЛЯ ДОЗИРОВАНИЯ ЖИДКОГО РЕАГЕНТА С ПРИВОДОМ ОТ ШТАНГОВОГО НАСОСА

Д.И. Шишлянников, профессор, Д.И. Дремина, аспирант, Ю.Г. Коротков, аспирант,
В.И. Шишлянников, м. н. с., Е.Н. Малых, студент
ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Приведена конструкция перспективного погружного механизированного устройства для дозированной подачи химического реагента в скважину при добыче нефти в осложненных условиях с использованием установок штанговых скважинных насосов. Описан порядок работы предложенного устройства и его основные достоинства.

Ключевые слова: установка штангового скважинного насоса, осложненные условия нефтедобычи, скважинный контейнер, ингибитор, защита оборудования.

DEVELOPMENT OF A DOWNHOLE CONTAINER FOR LIQUID REAGENT DOSING DRIVEN BY A ROD PUMP

D. I. Shishlyannikov, D. I. Dremina, Y. G. Korotkov, V. I. Shishlyannikov, E. N. Malih

A promising design of a submersible mechanized device for the metered supply of a chemical reagent to a well during oil production in complicated conditions using rod well pumps is presented. The order of operation of the proposed device and its main advantages are described.

Keywords: installation of a rod well pump, complicated oil production conditions, well container, inhibitor, equipment protection.

В России на протяжении последних лет наблюдается постепенный рост добычи нефти. Ввод в эксплуатацию новых месторождений и забалансных запасов углеводородов зачастую характеризуется осложненными условиями при их разработке.

В себестоимости скважинной добычи нефти с использованием скважинных насосных установок затраты на преодоление осложняющих факторов составляют 25...50 % от эксплуатационных затрат. Развитие коррозии и солеотложений приводит к отказам насосных установок, уменьшая наработку ниже гарантийных сроков.

Нефтедобывающими предприятиями и заводами-изготовителями нефтепромыслового оборудования разрабатываются и осуществляются технические мероприятия по снижению отрицательного влияния осложнений на процессы добычи, сбора, подготовки и транспорта нефти. Эти мероприятия, как правило, имеют комплексный характер и предусматривают адаптацию промыслового оборудования к работе в условиях воздействия осложняющих факторов, а также предупреждение и периодическое устранение последствий осложняющих факторов. Из известных методов предупреждения солеотложений и снижения интенсивности коррозии скважинного оборудования при добыче нефти наиболее технологичным и экономически целесообразным является химический метод, который реализует-

ся посредством применения ингибиторов. Актуальной задачей является разработка эффективных способов дозирования ингибиторов к работающим скважинным насосным установкам.

В основе механизма действия ингибиторов солеотложений лежат адсорбционные процессы. Сорбция поверхностью частиц солей молекул ингибитора сопровождается образованием устойчивых соединений, при этом ингибиторы подавляют дальнейший рост зародышевых кристаллов гипса, кальцита и других малорастворимых солей. Образовавшиеся адсорбционные слои препятствуют не только соединению кристаллов, но и прилипанию их к поверхностям оборудования и труб, что обеспечивает вынос частиц солей потоком пластовой жидкости из скважинного трубопровода [1].

Действие ингибиторов коррозии обусловлено изменением состояния поверхности металла вследствие адсорбции реагента или образования с катионами металла труднорастворимых соединений. Защитные слои, создаваемые ингибиторами коррозии, всегда тоньше наносимых покрытий. На промыслах России и стран СНГ применяют следующие способы подачи реагентов к скважинной насосной установке:

- закачка ингибитора в затрубное пространство – периодическая «ручная» обработка 1...3 раза в месяц и постоянная подача ингибитора с помощью устьевых установок дозирования реагента;
- установка поверхностных дозаторов реагентов (УДР);
- применение скважинных погружных контейнеров.

Периодическая закачка ингибитора в затрубное пространство применяется более чем на половине скважин, отнесенных к осложненному фонду. Данный способ рекомендуется использовать только при высоких динамических уровнях жидкости в скважинах, иначе реагент быстро выносится потоком жидкости, что обуславливает снижение эффективности мероприятий по защите скважинного оборудования. Корректировка периодичности обработки осуществляется по результатам контроля за выносом реагента.

До 30 % скважин осложненного фонда оснащаются УДР, которые осуществляют непрерывную подачу ингибитора в затрубное пространство. Данный способ характеризуется высокими материальными затратами на ингибитор ввиду повышенной эффективной дозировки.

Скважинные погружные контейнеры используются на промыслах в сравнительно небольших количествах. Между тем, данный способ ингибиторной защиты глубинно-насосного оборудования обладает рядом существенных преимуществ. Погружные контейнеры подают ингибитор в самый низ насосной установки, что обуславливает высокую эффективность их использования. Данный способ характеризуется минимальными эксплуатационными расходами при работе на удалённых скважинах – контейнеры легко монтируются и не требуют обслуживания в течение всего срока эксплуатации.

На сегодняшний день производителями нефтегазового оборудования серийно выпускаются скважинные контейнеры для твердых и капсулиро-

ванных реагентов. Основным недостатком данных погружных контейнеров является неравномерность дозирования реагентов в скважины.

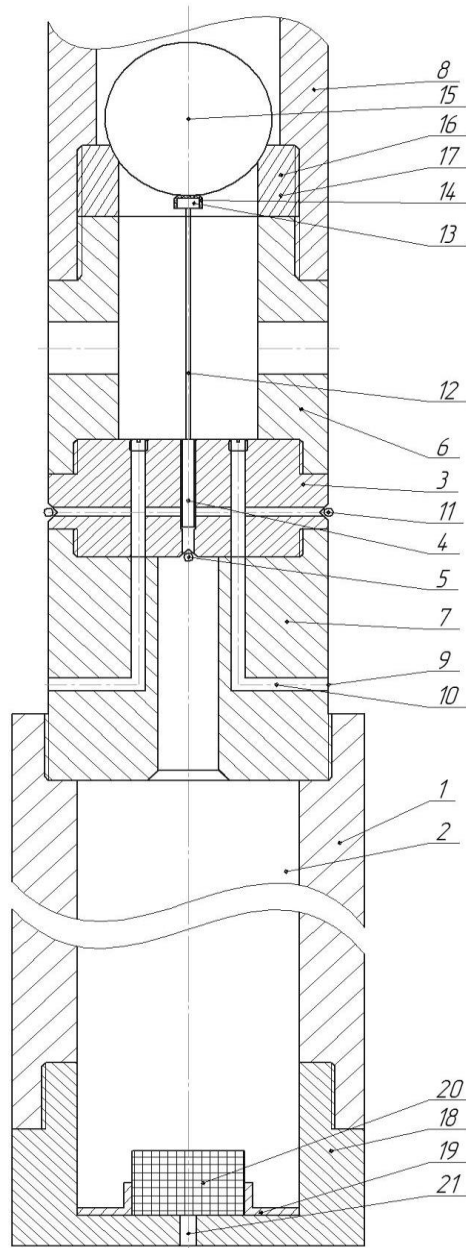


Рис. 1 – Контейнер погружной механизированный для подачи жидкого реагента в скважину

К плунжеру 4 закреплен шток 12 с установленным на нём магнитом 13, к которому привулканизирована резиновая защитная пластина 14 для демпфирования ударов о шарик 15 всасывающего клапана 16, находящегося в паре с седлом 17 всасывающего клапана 16 штангового насоса 8. Внутри распределителя 18, расположенного в нижней части ёмкости 1. В цилиндр 19 установлен пористый элемент 20 над дозировочным отверстием 21.

Ход плунжера 4 ограничен высотой подъема шарика 15 всасывающего клапана 16 штангового насоса 8. В зависимости от вязкости химиче-

Авторами предложена конструкция механизированного скважинного погружного контейнера (рис. 1), оснащенного плунжерным насосом-дозатором, осуществляющим равномерную подачу ингибитора в скважину.

Погружное устройство состоит из ёмкости 1, выполненной из гладкой трубы и заполненной жидким водорастворимым реагентом 2, плунжерного насоса-дозатора 3 с установленными внутри плунжером 4 и обратным клапаном 5, соединительного узла 6, узла подвода вытесняющей жидкости 7 в ёмкости с жидким реагентом. Ёмкость 1 с жидким реагентом 2 сообщена с объемным плунжерным насосом-дозатором 3 с приводом, частота срабатываний которого пропорциональна частоте качаний привода штангового скважинного насоса 8. Узел подвода вытесняющей жидкости 7 в ёмкости с жидким реагентом выполнен в виде гравитационного сепаратора с отверстиями 9 для поступления пластовой жидкости. Каналы 10 узла подвода 7, представляющего собой гравитационный сепаратор «вода – нефть», в верхней части соединены с обратными клапанами 11.

ского реагента 2, размещенного в ёмкости 1, рассчитываются параметры пористого элемента 20.

Предлагаемое устройство устанавливается под штанговый скважинный насос (ШСН), при этом привод дозатора реализуется от всасывающего клапана ШСН, с которым плунжер насоса-дозатора соединен посредством гибкого штока и магнитной застёжки.

Таким образом, предложенный механизированный погружной контейнер обеспечивает непрерывную равномерную подачу жидкого реагента в скважину при добыче нефти в осложненных условиях при использовании установок штанговых скважинных насосов. На предложенное устройство получен патент [2].

Исследования выполнены при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSNM-2023-0005).

Список литературы

1. Мищенко, И. Т. Выбор способа эксплуатации скважин нефтяных месторождений с трудноизвлекаемыми запасами / И. Т. Мищенко, Т. Б. Бравичеса, А. И. Ермолаев. – М.: Нефть и газ, 2005. – 448 с.
2. Патент 2746916 Российская Федерация, МПК E21B37/06 (2021.02). Устройство для дозированной подачи реагента в скважину: № 2020134167; заявлено 16.10.2020; опубликовано 22.04.2021 / Д. И. Шишлянников, Д. И. Дремина, С. А. Фролов; заявитель ПНИПУ. Бюл. № 12. – 9 с.

ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАСЧЕТЫ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

***Чтоб трагичное мгновенье
Горняков бежало прочь,
Кто-то должен непременно
Рассчитать весь риск
точь-в-точь!***

Доц. П.А. Жиганов

УДК 621.9

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛИ «КРЫЛЬЧАТКА»

А. Боева¹

¹ Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

В настоящее время широкое распространение получили агрегаты, в конструкцию которых входит нагнетательный элемент – крыльчатка. Она является неотъемлемой частью системы и непосредственно от ее формы, размеров, диаметра и прочих показателей зависят технические параметры оборудования. В связи с тем, что крыльчатка является важным, но при этом уязвимым узлом, чтобы обеспечить стабильность работы оборудования, минимизировать износ и механические поломки движущихся частей, необходимо изменить конструкцию детали и внедрить дополнительные лопасти.

Ключевые слова: крыльчатка, лопасти, износ, тандемные лопасти, сплошность перекачиваемой среды, аддитивные технологии

MODERNIZATION OF THE DETAIL "IMPELLER" PART

A.Boeva

Currently, aggregates are widely used, the design of which includes a discharge element – an impeller. It is an integral part of the system and the technical parameters of the equipment depend directly on its shape, size, diameter and other indicators. Due to the fact that the impeller is an important, but at the same time vulnerable node, in order to ensure the stability of the equipment, minimizes wear and mechanical breakdowns of moving parts, it is necessary to change the design of the part and introduce additional blades.

Keywords: impeller, blades, wear, tandem blades, continuity of the pumped medium, additive technologies

Введение

Центробежные насосы используются для циркуляции среды. Основными элементами, общими для всех конструкций центробежных насосов, являются: всасывающий патрубок, рабочее колесо с лопатками, корпус спиральной формы и напорный патрубок, но основным узлом является улиткообразный корпус, в который помещено рабочее колесо [1].

Крыльчатка чаще всего является причиной поломки центробежных насосов. Проблемы возникают ввиду сложных рабочих условий: воздействие среды (её высокая плотность, наличие абразива), вибрация, кавитация, а также «сухой ход» [1, 2]. Транспортировка среды сопровождается нарушением её сплошности, что влечет за собой нарушение потока, повышение концентраций напряжений, появление трещин в материале, как результат выход из строя детали и агрегата.

Для создания более стабильного потока и увеличения срока службы изделия, необходимо совершенствовать конструкцию крыльчатки, посредством добавления тандемных лопастей.

Тандемные лопасти

Нагрузка на крыльчатку во время работы центробежного насоса состоит из двух частей: аэродинамическая нагрузка и центробежная нагрузка, которые оказывают влияние на усталостное разрушение рабочего колеса [3, 4].

На рисунке 1 представлены результаты моделирования напряжений, включающие максимальные напряжения и деформации рабочего колеса. Заметна концентрация напряжений при пересечении лопастей и центральной оси (место крепления лопасти), а деформация наблюдается только на кончиках лопастей. Распределение напряжений и деформаций для каждой лопасти аналогично.

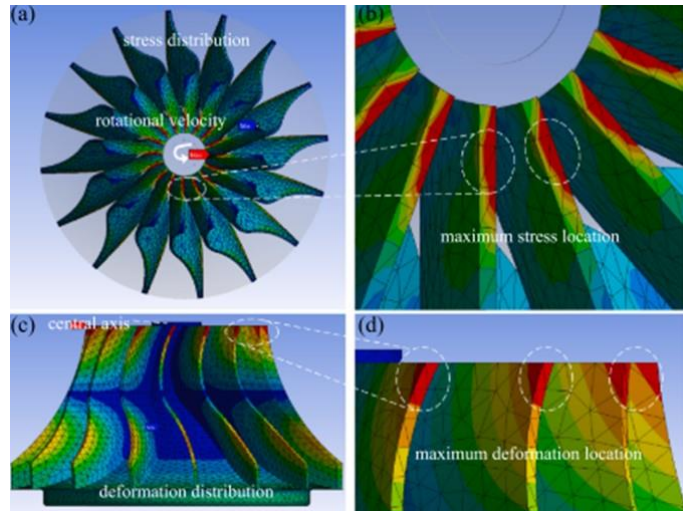


Рисунок 1 – Концентрация напряжений и деформаций в крыльчатке [4]

Движение реальной жидкости в канале рабочего колеса и обтекание лопастей связано с образованием пограничного слоя. Пограничный слой, набухая в зоне возникновения местных диффузионных явлений, может существенно изменить кинематику внешнего потока по сравнению с обтеканием тех же профилей идеальной жидкостью. Изменение относительной скорости по поверхности лопасти приводит к образованию участков контура, где относительная скорость уменьшается (это связано с переходом кинетической энергии потока в давление). Участки контура лопасти, где в основной части потока происходит преобразование скорости в давление, опасны с точки зрения возможности отрыва потока.

Частицы жидкости в пограничном слое, обладая меньшей кинетической энергией, не способны проникнуть в область, в которой давление возрастает из-за динамики основного потока, что приводит к отрыву потока от поверхности профиля. Отрыв потока от поверхности лопасти приводит к уменьшению сечения потока, его неравномерности и уменьшению величины напора.

Из-за узких каналов рабочего колеса и сильной диффузии потока создаётся неустойчивая структура потока и происходит его разделение: вторичный поток, обратный поток и вихревой, что приводит к низкой эффективности, нестабильному внутреннему потоку и неустойчивым эксплуатационным характеристикам агрегата [1].

Чтобы создать более устойчивую структуру, необходимо разделить величину угла отклонения потока. Такая конструкция представляет собой разделенную на 2 части лопасть – тандемную лопасть (рис.2).

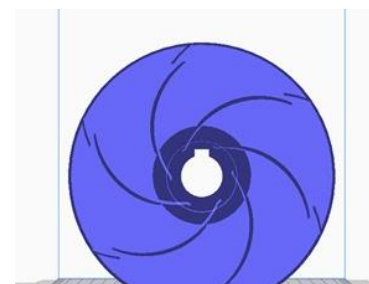


Рис. 2. Тандемная лопасть

Чтобы увеличить угол отклонения потока без существенного увеличения потерь, необходимо использовать зазоры (щели) с профилированными под сопло стенками для перепуска среды под высоким давлением с корытца лопатки в ослабленный пограничный слой на спинке лопатки перед предполагаемым местом отрыва потока. Такая конструкция колеса имеет более широкий диапазон режимов работы [5].

При использовании tandemных лопастей характеристики внутреннего потока центробежного насоса превосходят гидравлические характеристики насоса с рабочим колесом, в котором лопасти не сдвоены. Распределение скоростей текучей среды по рабочему колесу и спирали значительно лучше, потому что распределение скоростей на одном и том же радиусе более равномерно, градиент скорости уменьшается, потери потока также уменьшаются, что увеличивает стабильность потока и производительность насоса [5,6,7].

Актуализация технологии изготовления

Традиционные методы получения детали «крыльчатка» не позволяют создать сдвоенные лопасти, обеспечив необходимое качество поверхности. Именно поэтому в данном исследовании внимание уделяется аддитивным технологиям, которые позволяют реализовать легкую, эргономичную конструкцию детали и заменить процесс изготовления в традиционных литейных цехах [7].

Заключение. Таким образом, новая конструкция детали «колесо рабочее» позволит стабилизировать поток нагнетания, улучшить аэродинамические характеристики и повысить надежность оборудования. Более того, за счет равномерности потока будут снижены напряжения на пересечении лопастей и центральной оси, что минимизирует вероятность зарождения трещин в материале.

Список литературы

1. Горшков А. М. «Насосы» - Москва: Госэнергоиздат МЭС, 1947
2. Свешников В.К. Насосы и гидродвигатели: Номенклатура, параметры, размеры, взаимозаменяемость. Издательский центр «Техинформ» МАИ, 2001
3. Некрасов Б. Б., Беленков Ю. А. Насосы, гидроприводы и гидропередачи. - Москва: И-во высш. и сред. спец. образ. РСФСР. Моск. автомех. ин-т. Каф. "Гидравлики и гидромашин", 1976
4. [Jinlong W.](#), [Wenjie P.](#), [Yongjie B.](#) VHCF evaluation with BP neural network for centrifugal impeller material affected by internal inclusion and GBF region // Engineering Failure Analysis (2022) 136, DOI: [10.1016/j.engfailanal.2022.106193](https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106193)
5. [Subroto.](#), [Effendy M.](#) Optimization of centrifugal pump performance with various blade number // AIP Conference Proceedings. 2019. - Vol. 2114. - №020016. DOI: 10.1063/1.5112400
6. [Shi X.](#), [Lu J.](#), [Zhao L.](#) Investigations on the influence of tandem blades on inner flow and performance characteristics of centrifugal pump // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering. 2020. – Vol. 234(1). - P.46-55, DOI: [10.1177/0954408919883730](https://doi.org/10.1177/0954408919883730)
7. Шишковский И.В. Основы аддитивных технологий высокого разрешения. - СПб.: Питер, 2016

УДК 622.232

РАСЧЕТ УСИЛИЙ В КАНАТАХ ДРАГЛАЙНА ПРИ ВХОДЕ КОВША В ЗОНУ РАСТЯЖКИ

С. Ю. Брозовский¹, зам. гл. конструктора, В. С. Шестаков², проф.

¹ ОАО «Трансмаш», г. Екатеринбург, РФ,

² ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ

В статье рассмотрена методика определения усилий в канатах экскаватора-драглайна при входе в зону растяжки ковша и влияние на них конструктивных параметров рабочего оборудования. Методика основана на применении моделей рабочего процесса подъемных и тяговых лебедок и включает модули расчета координат, скоростей, усилий в канатах и алгоритмы их решения. Результаты расчета усилий используются при выполнении анализа напряженно-деформированного состояния стрелы и могут быть полезны при проектировании системы управления драглайном.

Ключевые слова: экскаватор, драглайн, усилие, рабочее оборудование, стрела, модель.

CALCULATION OF FORCES IN DRAGLINE ROPES WHEN THE BUCKET ENTERS THE STRETCH ZONE

S.Yu. Brozovsky, V.S. Shestakov

The article considers a method for determining the forces in the ropes of a dragline excavator at the entrance to the bucket stretch zone and the influence of the design parameters of the working equipment on them. The method is based on the use of working process models of lifting and traction winches and includes modules for calculating coordinates, speeds, forces in ropes and algorithms for their solution. The results of the force calculation are used in the analysis of the stress-strain state of the boom and can be useful in designing the dragline control system.

Keywords: excavator, dragline, effort, working equipment, boom, model

Одно из направлений снижения массы стрелы драглайна за счет изготовления ее элементов без излишних запасов прочности. Для решения этой задачи необходимо точно определить значения напряжений во всех элементах стрелы, и подобрать такие сечения этих элементов, чтобы расчетное напряжение было близко к допустимому напряжению. Расчет напряжений выполняется по действующим усилиям.

В известных методиках при расчетах усилий рассматривается положение ковша на границе зоны растяжки, а усилия в подъемных и тяговых канатах считают равными стопорным (максимальным) значениям [1]. При этом не учитывается процесс движения ковша при входе в зону растяжки, когда подъемная и тяговая лебедки работают на себя, т. е. уменьшают длину канатов. При работе реальных подъемной и тяговой лебедок, из-за большой инерционности их элементов, ковш не остановится на границе зоны растяжки, а продолжит движение к стреле и это приведет к увеличению усилий в канатах. Точное максимальное значение усилий может быть определено по математической модели, включающей выражения, имитирующие работу лебедок, и обеспечивающие расчет усилий в канатах.

Текущее значение скорости барабана лебедки определяется по дифференциальному уравнению движения. Для механизмов вращательного движения с неизменными моментами инерции уравнение имеет вид [2]

$$M_{дв} \cdot \eta_{л} - M_c = J_{пр} d\omega / dt, \quad (1)$$

где $M_{дв}$, M_c – движущий момент привода и момент сопротивлений, соответственно; $\eta_{л}$ – КПД лебедки; $J_{пр}$ – суммарный момент инерции лебедки, приведенный к валу двигателя; ω – текущее значение угловой скорости.

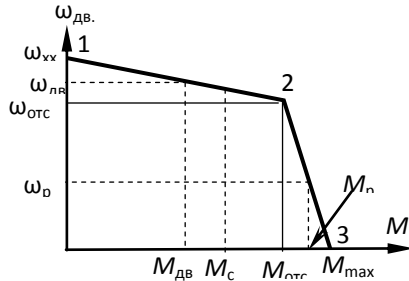


Рис. 1. Статическая механическая характеристика привода
 $\omega_{хх}$, $\omega_{отс}$ – скорость холостого хода и отсечки; M_{max} , $M_{отс}$ – момент привода максимальный, отсечки; $\omega_{дв}$, $M_{дв}$ – текущее значение скорости и момента вала

Движущий момент привода, с достаточной для поставленной цели точностью, можно определять по механической характеристике привода (рис. 1), так как современные системы управления приводами позволяют обеспечивать соответствие динамической и статической механических характеристик привода без существенных отклонений.

При увеличении усилий в канатах и, соответственно, моментов сопротивлений на валу двигателя M_c скорость вала двигателя начнет уменьшаться по линии 1-2, а затем по 2-3 характеристики. После превышения M_c момента M_{max} система управления автоматически переключается в тормозной режим, когда на валу привода момент будет постоянным, равным M_{max} , направленным встречно скорости.

При работе привода на участках 1-2, 2-3 характеристики момент вычисляется по формулам

$$M_{дв.i} = M_{max} - (M_{max} - M_{отс}) \frac{\omega_{дв.i}}{\omega_{отс}}, \quad \text{при } \omega_{дв.i} < \omega_{отс} \quad (2)$$

$$M_{дв.i} = M_{отс} \frac{(\omega_{хх} - \omega_{дв.i})}{(\omega_{хх} - \omega_{отс})}, \quad \text{при } \omega_{дв.i} > \omega_{отс} \quad (3)$$

Уравнение движения при торможении

имеет вид

$$-M_{max} / \eta_{л} - M_c = J_{пр} d\omega / dt \quad (4)$$

Момент сопротивления на валу привода лебедки:

$$M_c = F_k R_b / U_{л}, \quad (5)$$

где F_k – усилие в канатах подъемной ($F_{п}$) или тяговой ($F_{т}$) лебедок (рис. 2); R_b – радиус барабана лебедки; $U_{л}$ – передаточное отношение лебедки.

Суммарный момент инерции лебедки:

$$J_{пр} = J_{дв} + J_b / U_{л}^2 + m_{к+г} R_b^2 / U_{л}^2, \quad (6)$$

где $J_{дв}$, J_b – момент инерции роторов двигателей и барабанов лебедки; $m_{к+г}$ – масса руженого ковша.

По (1), (6) численным интегрированием определяется текущая скорость $\omega_{дв}$. Для расчета угла поворота вала двигателя используется формула определения скорости

$$\omega = d\varphi / dt \quad (7)$$

Из (7) численным интегрированием определяется угол поворота φ .

По углу поворота вала барабана определяется значения длин канатов подъемной и тяговой лебедок

$$L_{T,i} = L_{T,н} + \varphi_T U_T R_{б,Т}; \quad L_{П,i} = L_{П,н} + \varphi_P U_P R_{б,П}, \quad (8)$$

где $L_{T,i}$, $L_{П,i}$ – текущее значение длины тяговых и подъемных канатов от ковша до блоков; $L_{T,н}$, $L_{П,н}$ – значение длины тяговых и подъемных канатов от ковша до блоков в начале расчетов; φ_T , φ_P – текущее значение угла поворота вала двигателя тяговой и подъемной лебедок от начала расчета; U_T , U_P – передаточное отношение тяговой и подъемной лебедок; $R_{б,Т}$, $R_{б,П}$ – радиус барабана тяговой и подъемной лебедок.

Усилия в тяговых F_T и подъемных F_P канатах определяются по силе тяжести ковша G_K и углам наклона канатов (β_P , β_T) по уравнениям равновесия (рис. 2)

$$F_T = \frac{G_K + F_{цб} \operatorname{tg} \beta_P}{\sin \beta_T - \cos \beta_T \cdot \operatorname{tg} \beta_P}, \quad F_P = -\frac{F_T \cdot \cos \beta_T + F_{цб}}{\cos \beta_P}, \quad (9)$$

где $F_{цб}$ – центробежная сила, действующая на ковш

$$F_{цб} = m_{к+г} \omega_{пл}^2 x_i; \quad (10)$$

x_i – расстояние от оси вращения платформы экскаватора до центра тяжести ковша; $\omega_{пл}$ – скорость поворота платформы.

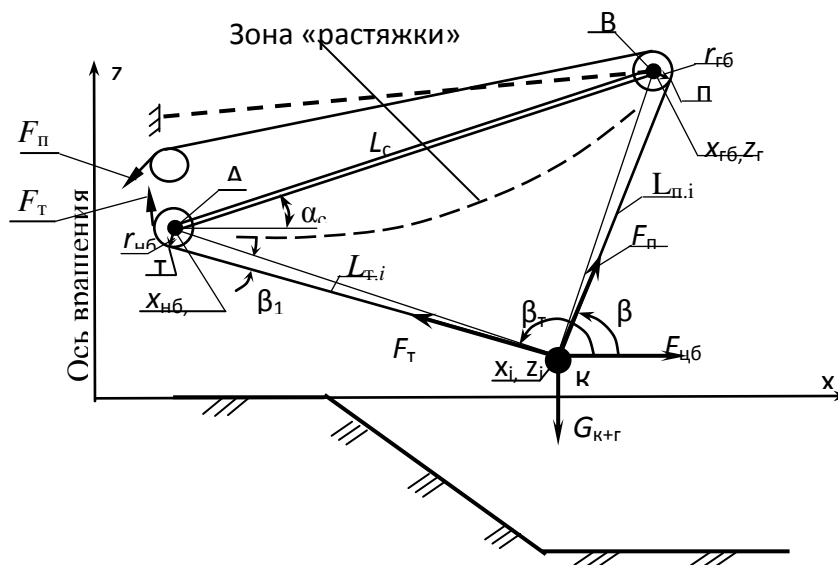


Рис. 2. Расчетная схема к определению усилий:

L_c – длина стрелы; α_c – угол наклона стрелы; $x_{нб}$, $z_{нб}$, $x_{тб}$, $z_{тб}$ – координаты осей направляющих и головных блоков; x_i , z_i – положение центра тяжести ковша; $r_{нб}$, $r_{тб}$ – радиус направляющих и головных блоков; $G_{к+г}$ – сила тяжести груженого ковша

Угол наклона к горизонтали отрезка, соединяющего точку схода подъемных канатов с головных блоков и центр тяжести ковша

$$\beta_P = \alpha_c + \arccos \left(\frac{L_c^2 + L_{БК,i}^2 - L_{АК,i}^2}{2 \cdot L_c \cdot L_{БК,i}} \right) - \operatorname{arctg} \frac{r_{тб}}{L_{Т,i}}$$

Угол наклона к горизонтали отрезка, соединяющего точку схода тяговых канатов с направляющих блоков и центр тяжести ковша

$$\beta_T = \alpha_c + \arccos \left(\frac{L_c^2 + L_{БК,i}^2 - L_{АК,i}^2}{2 \cdot L_c \cdot L_{БК,i}} \right) + \arccos \left(\frac{L_{БК,i}^2 + L_{АК,i}^2 - L_c^2}{2 \cdot L_{БК,i} \cdot L_{АК,i}} \right) + \operatorname{arctg} \frac{r_{нб}}{L_{Т,i}}$$

где $L_{AK.i}$ – длина отрезка между осью направляющих блоков и центром тяжести ковша
 $L_{BK.i}$ – длина отрезка между осью головных блоков и центром тяжести ковша

$$L_{BK.i} = \sqrt{L_{п.i}^2 + r_{гб}^2}, \quad L_{AK.i} = \sqrt{L_{т.i}^2 + r_{нб}^2};$$

В табл. 1 представлены результаты расчета для ЭШ-25.100.

Таблица 1 - Изменение нагрузок при входе ковша в зону растяжки

	x_i	z_i	$L_{т.i}$	$L_{п.i}$	F_T	$F_{п}$	$F_T/G_{к+г}$	$F_{п}/G_{к+г}$
Начало торможения	51	18	39,2	65,56	1480	1698	1,762	2,022
Конец торможения	48,7	21	38,2	64,5	1972	2217	2,348	2,64
Отклонение	-	-	1,005	1,061	491,6	519	0,332	0,305

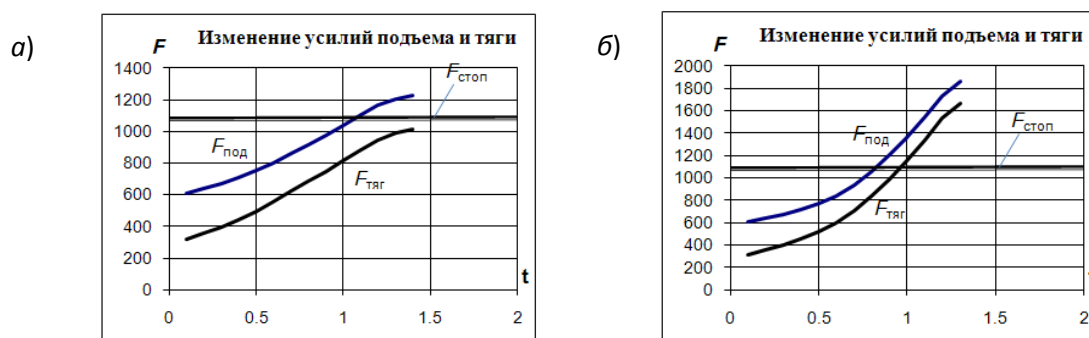


Рис. 3. Влияние суммарного, приведенного к валу двигателя момента инерции лебедок (J) на максимальные усилия в канатах при входе ковша в зону растяжки:
 а – $J = 200 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$; б – $J = 250 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$; $F_{под}$, $F_{тяг}$ – усилия в подъемных и тяговых канатах;
 $F_{стоп}$ – стопорное усилие в канатах

Выводы. При торможении происходит существенное увеличение усилий в подъемных и тяговых канатах, это нужно учитывать при расчете напряжений в металлоконструкциях стрелы. Для уменьшения нагрузок на стрелу при проектировании лебедок необходимо прорабатывать возможности снижения суммарного приведенного момента инерции.

Список литературы

1. Лагунова Ю. А., Комиссаров А.П., Шестаков В.С. и др. Машиностроение. Энциклопедия. М.: Машиностроение. Горные машины. Т. IV-24, 2011. 496 с.
2. Расчет на ЭВМ параметров горного оборудования: Учебное пособие / Шестаков В. С.; Урал. гос. горный ун-т. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2009. – 258 с.

УДК 622.271.4; 62-567

СТРУКТУРНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА, ОСНАЩЕННОГО УПРУГОДЕМПФИРУЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ

И.В. Зырянов¹, проф., А.А. Иов², инж., И.А. Иов³, канд. техн. наук,
В.А. Храмовских³, канд. техн. наук

¹Политехнический институт (филиал) СВФУ, г. Мирный, Россия

²ООО «СЛСи-Джи Эйч», г. Москва, Россия

³Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия

Разработана структурная математическая модель механизма подъема карьерного экскаватора оснащенного упругодемпфирующим устройством. Показано, что при определенных условиях демпфирующее устройство можно представить в виде дополнительной механической обратной связи. Достоверность модели подтверждается результатами математического моделирования и экспериментальными исследованиями.

Ключевые слова: динамические нагрузки, упругодемпфирующее устройство, структурная схема, экспериментальная установка.

STRUCTURAL MATHEMATICAL MODEL OF THE HOISTING MECHANISM OF A MINING EXCAVATOR EQUIPPED WITH ELASTIC-DAMPING DEVICE

I.V. Zyryanov, A.A. Iov, I.A. Iov, V.A. Khramovskikh

A structural mathematical model of the hoisting mechanism of a mining excavator equipped with an elastic-damping device has been developed. It is shown that under certain conditions the damping device can be represented as an additional mechanical feedback. The reliability of the model is confirmed by the results of mathematical modeling and experimental studies.

Keywords: dynamic load, elastic-damping device, structural scheme, experimental unit.

Динамические нагрузки в рабочем оборудовании карьерных экскаваторов являются основной причиной снижения надежности машин и приводят к развитию и ускоренному росту усталостных трещин в металлоконструкциях, повышенному износу канатов и внезапным отказам рабочего оборудования [1]. Одним из путей повышения надежности копающих механизмов является применение в их конструкции дополнительных упругодемпфирующих устройств (УДУ) [2]. Главным принципом установки этих устройств является их максимальное приближение к источнику колебаний, что выдвигает особые требования к его конструкции, способной выдерживать максимальные нагрузки в механизме. Известны схемы установки УДУ в механизмы подъема, напора и подвеску стрелы карьерных экскаваторов [3-6]. Разнообразие конструктивных схем УДУ затрудняет сравнительный анализ различных технических решений с позиции эффективности поглощения динамической составляющей нагрузки. Одним из возможных путей решения этой проблемы является получение некоторых обобщенных моделей механизмов с УДУ, например, с помощью теории механических це-

пей и методов структурного математического моделирования механических колебательных систем [7].

Объектом исследования выберем механизм подъема карьерного экскаватора, описываемого двухмассовой расчетной схемой, на основе которой запишем дифференциальное уравнение

$$M_{12}p^2 + b_{12}J_{12}M_{12}p + \omega_{12}^2M_{12} = \frac{c_{12} + b_{12}p}{J_1}M_{об} + \frac{c_{12} + b_{12}p}{J_2}M_C, \quad (1)$$

с общепринятыми обозначениями [8].

В соответствии с принципом работы, УДУ под действием внешней нагрузки деформируется на некоторую величину, поглощая энергию динамической составляющей. Математическая модель, описывающая поведение данного типа устройств, представляет собой простейшую колебательную систему [7] состоящую из массы (инерции) J_3 , упругого элемента (пружины) c_3 и демпфера b_3 , которая описывается следующим уравнением

$$\frac{x}{F} = \frac{1}{J_3p^2 + b_3p + c_3}, \quad (2)$$

где: F – силовое воздействие; x – деформация УДУ.

Анализируя известные схемы рабочего оборудования с УДУ заметим, что передача нагрузки со стороны подъемных кантов на устройство осуществляется с помощью рычажных механизмов, а перемещение, по сути, дополнительная величина деформация каната, обеспечивается либо за счет поворота уравнительных полублоков [3,6], либо за счет перемещения головных блоков, при установке УДУ в подвеске стрелы [5]. Особенности взаимодействия УДУ с механизмом подъема позволяют установить эквивалентность между схемой включения устройства и его параметрами с некоторой механической отрицательной обратной связью [9]. Объединяя формулы (1) и (2), получим систему уравнений, на основе которой составим структурную схему (рис. 1), где УДУ представлено в виде механической обратной связи.

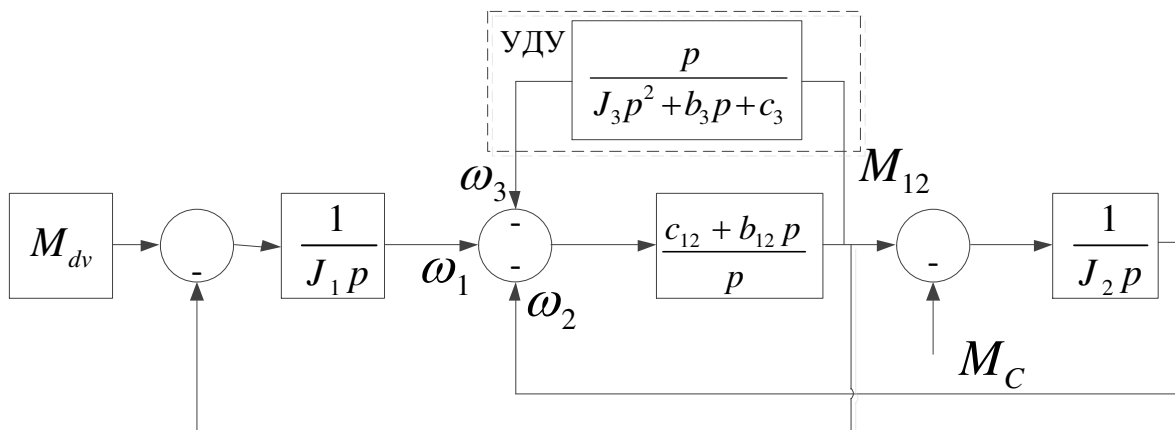


Рис. 1. Структурная схема механизма подъема оснащенного УДУ

Учитывая малую инерционность УДУ [2], положим $J_3 \approx 0$ и запишем дифференциальное уравнение, связывающее усилие в механизме с моментом двигателя

$$\frac{M_{12}}{M_{ос}} = \frac{\frac{b_{12}b_3}{J_1(b_{12}+b_3)}p^2 + \frac{b_{12}c_3 + b_3c_{12}}{J_1(b_{12}+b_3)} + \frac{c_{12}c_3}{J_1(b_{12}+b_3)}}{p^3 + \frac{b_{12}J_{12}b_3 + c_{12} + c_3}{b_{12}+b_3}p^2 + \frac{b_{12}J_{12}c_3 + \omega_{12}^2b_3}{b_{12}+b_3}p + \frac{\omega_{12}^2c_3}{b_{12}+b_3}}. \quad (3)$$

Выражение (3) показывает, что введение УДУ в конструкцию механизма подъема повышает порядок дифференциального уравнения. С одной стороны это несколько уточняет расчетную схему механизма, с другой – позволяет осуществлять выбор параметров УДУ на основе заданного характера движения, используя известные методы синтеза, например, на основе нормированных полиномов или интегральных уравнений Вольтерра II-рода [9,10].

С целью проверки разработанной математической модели был изготовлен лабораторный макет копающего механизма экскаватора, в котором использовалось УДУ, состоящее из параллельно установленных пружины и демпфера, размещенное под ходовой ветвью каната. Проведенные экспериментальные исследования режимов пуска и стопорения копающего механизма подтвердили правильность выдвинутых предположений. Пример переходных процессов в экспериментальной установке и математической модели этого механизма (использовалась среда SimInTech) приведен на рис. 2.

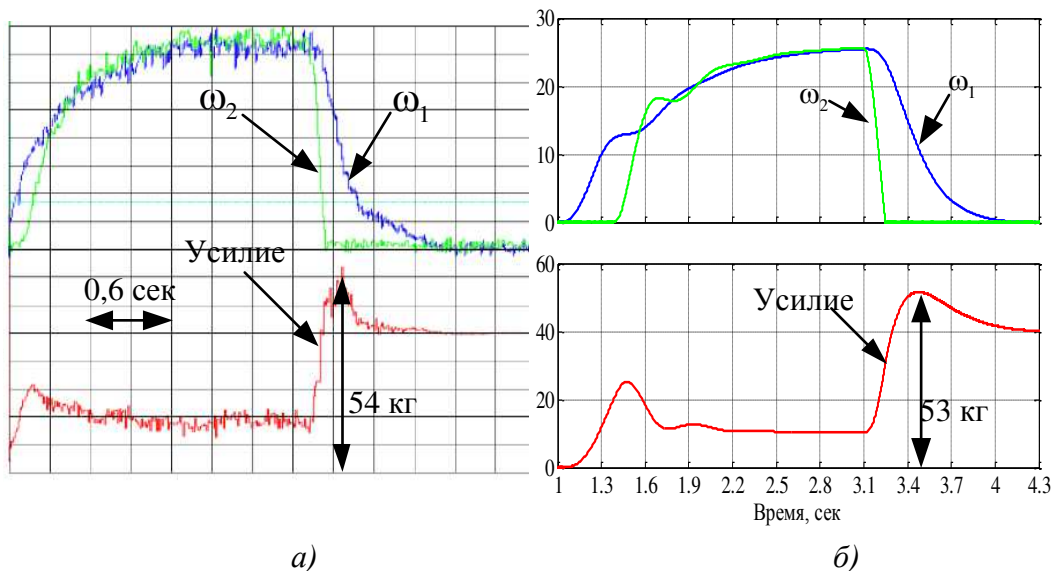


Рис. 2. Переходные режимы пуска и стопорения механизма:
а – эксперимент, б – модель

Осциллограммы на рис. 2 показывают удовлетворительное совпадение результатов моделирования и экспериментальных данных. Отклонения переходных процессов в модели и эксперимента связаны с погрешностями

при линеаризации характеристик электропривода, механизма и УДУ, которые на самом деле таковыми не являются.

Заключение

Предложена структурная математическая модель механизма подъема карьерного экскаватора оснащенного упругодемпфирующим устройством. Показано, что введение в конструкцию механизма УДУ при определенных условиях может быть эквивалентно добавлению в математическую модель дополнительной отрицательной механической обратной связи. На основе экспериментальных исследований подтверждена правомерность данного подхода, применение которого позволяет уточнить расчетную схему и выбирать параметры демпфирующих устройств по заданному характеру изменения усилия в механизме копания.

Список литературы

1. Махно Д.Е. Хладноломкость и хладнотойкость металлоконструкций горных машин в условиях Севера./ Д. Е. Махно, А. И. Шадрин, А. Н. Авдеев, А. П. Макаров. - Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2010. 232 с.
2. Губенко А.А., Свиначук В.П. Обзор и анализ параметров конструкций упругодемпфирующих устройств // Научный вестник МГГУ, 2011, №1. – С. 9-19.
3. Авт. свид. СССР 8П № 1720317 А1 Подэрни Р. Ю., Мухамедов М. Х. и др. Рабочее оборудование одноковшового экскаватора. 1991. Бюл. № 28.
4. Авт. свид. СССР 8П № 1720314 А1 Подэрни Р. Ю., Мухамедов М. Х. и др. Механизм подъема ковша экскаватора. 1991. Бюл. №26.
5. Свиначук В.П. Обоснование и выбор динамических параметров рабочего оборудования карьерных экскаваторов: дисс. канд. техн. наук: 05.05.06. – М.: МГГУ, 2012. – 143 с.
6. Патент на изобретение РФ № 2779865 Рабочее оборудование одноковшового экскаватора // Оpubл. 14.09.2022 г. / Авторы: Кузнецов Н.К., Иов И.А., Иов А.А., Долгих Е.С.
7. Елисеев С.В., Резник Ю.И., Хоменко А.П., Засядко А.А. Динамический синтез в обобщенных задачах виброзащиты и виброизоляции технических объектов. – Иркутск: ИГУ. 2008. – 523 с.
8. Kuznetsov N.K., Iov I.A., Iov A.A. Synthesis of parameters of elastic-damping devices to reduce the dynamic loads of mining machines based on the concept of inverse dynamic problems //Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1753(1), 012021.
9. Kuznetsov N.K., Iov I.A., Dolgih E.S. Synthesis of the parameters of the elastic-damping device in the excavator's digging mechanism based on the use of the integral equation // IPDME 2021, E3S Web of Conferences 326, 00026 (2021)
10. Голубенцев А.Н. Интегральные методы в динамике. Киев, 1967. 351 с.

УДК 622.232

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОСТОЙКИ СЕКЦИИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ

К.Б. Кызыров, проф., О.С. Решетникова, ст. преп., А.М. Галкин, студент
Карагандинский технический университет им. А.Сагинова, г. Караганда, Казахстан

Статья посвящена расчету и исследованию напряженно-деформированного состояния гильзы гидроцилиндра гидростойки секции механизированной крепи в зависимости от давления рабочей жидкости в ней. Исследования проводятся с применением современного программного комплекса SolidWorks. В результате определены возникающие напряжения и деформации в гильзе гидроцилиндра в процессе взаимодействия секции с породами почвы и кровли.

Ключевые слова: гидростойка, гидропривод механизированной крепи, имитационная модель, гильза гидроцилиндра.

RESEARCH OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE ELEMENTS OF THE HYDRAULIC SUPPORT OF THE POWER ROOF SUPPORT SECTION

K.B. Kyzyrov, O.S. Reshetnikova, A.M. Galkin, student

The article is devoted to the calculation and study of the stress-strain state of the hydraulic cylinder sleeve of the hydraulic support of the power roof support section, depending on the working pressure. The studies are carried out using the modern SolidWorks software package. As a result, the arising stresses and deformations in the hydraulic cylinder sleeve were determined in the process of section interaction with soil and roof rocks.

Keywords: hydraulic support, hydraulic drive of the power roof support, simulation model, hydraulic cylinder sleeve.

Гидростойка является гидравлической опорой секции механизированной крепи и предназначена для поддержания кровли с постоянным сопротивлением [1]. Несмотря на сложность конструкции гидростойки надежны в эксплуатации и легко управляемы, могут применяться на тонких, пологих, крутых пластах средней мощности, преодолевать значительные колебания пластов при выемке угля. Степень надежности и долговечности гидростойки секции крепи зависит от способности противостоять циклическим нагрузкам при взаимодействии с породами почвы и кровли через основание и перекрытие секции крепи [2]. Поэтому исследование параметров гидравлической стойки представляет значительный интерес и актуальность. Для оценки увеличения срока службы гидростойки и ее надежности был выполнен анализ напряженно-деформированного состояния гильзы гидроцилиндра первой ступени, испытывающей наибольшие нагрузки в рабочих циклах крепи. Численный эксперимент по определению НДС гильзы гидроцилиндра проведен с применением современного программного комплекса SolidWorks.

Конструктивные параметры гильзы гидроцилиндра были выбраны в соответствии с технической документацией «Инструкция по эксплуатации.

Щитовая крепь Busyrus 700/1600-2x2709-1750», которая входит в состав стругового комплекса «Busyrus Струг GH-5.7N» [3].

Требуемое сопротивление секции механизированной крепи Busyrus определяется согласно зависимостям, приведенным в [4]. Для секций механизированных крепей поддерживающе-оградительного типа при легкоуправляемой кровле и вынимаемой мощности пласта 1.11 м удельное сопротивление крепи $P_{кр.}$ равно 0.3 МН/м^2 или 300 кН/м^2 .

По технической характеристике удельное сопротивление крепи Busyrus при осадочном давлении 32 МПа равно 439 кН/м^2 ; при номинальном давлении 44 МПа равно 597 кН/м^2 . При этом необходимые сопротивления стойки составят:

$$F_{ст.} = \pi \cdot D^2 \cdot P_{кл.} / 4;$$

$$F_{ст.1} = \pi \cdot 0,28^2 \cdot 32000 / 4 = 1\,969,4 \text{ кН};$$

$$F_{ст.2} = \pi \cdot 0,28^2 \cdot 44000 / 4 = 2\,707,9 \text{ кН},$$

где $P_{кл.}$ – давление настройки предохранительного клапана; D – диаметр поршня гидростойки.

Общий вид расчетной модели гильзы гидроцилиндра приведен на рисунке 1. Модель состоит из гильзы 1, днища 2, поршня 3.

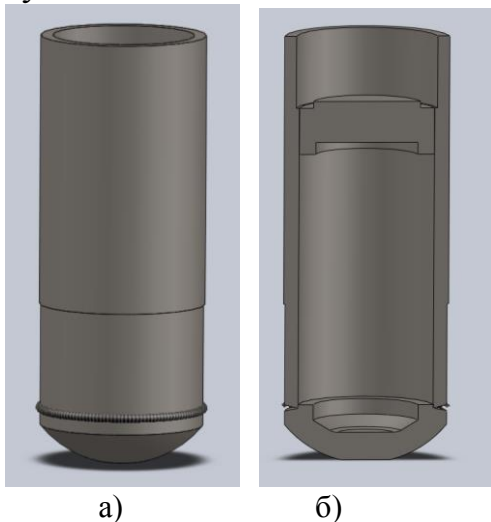


Рисунок 1 – Расчетная модель гильзы гидроцилиндра
а) общий вид; б) в разрезе

Для проведения расчетов были выбраны значения давлений в диапазоне 16 до 44 МПа, температуры в диапазоне от 20 до 80 °С. Материал элементов гидроцилиндра - сталь конструкционная легированная 30ХГСА. Результаты расчета статического анализа получены в виде эпюры напряжений, эпюры перемещений, эпюры деформаций, эпюры запаса прочности. На рисунках 2 - 6 в качестве примера приведены результаты расчета НДС гильзы для давления рабочей жидкости 32 МПа и температуры 50 °С. На рисунке 2 представлено распределение напряжений, возникающих в гильзе первой ступени, максимальные

напряжения в которой составили 284 МПа. Выявлено, что наиболее опасным местом в конструкции является соединение гильзы и дна гидроцилиндра, что показано красным цветом на эпюре. Максимальные перемещения составили 0.104 мм, что свидетельствует о возможном раздутии цилиндра в результате высоких нагрузок. Коэффициент запаса прочности гильзы гидроцилиндра составил 1.4 (рисунки 2,3).

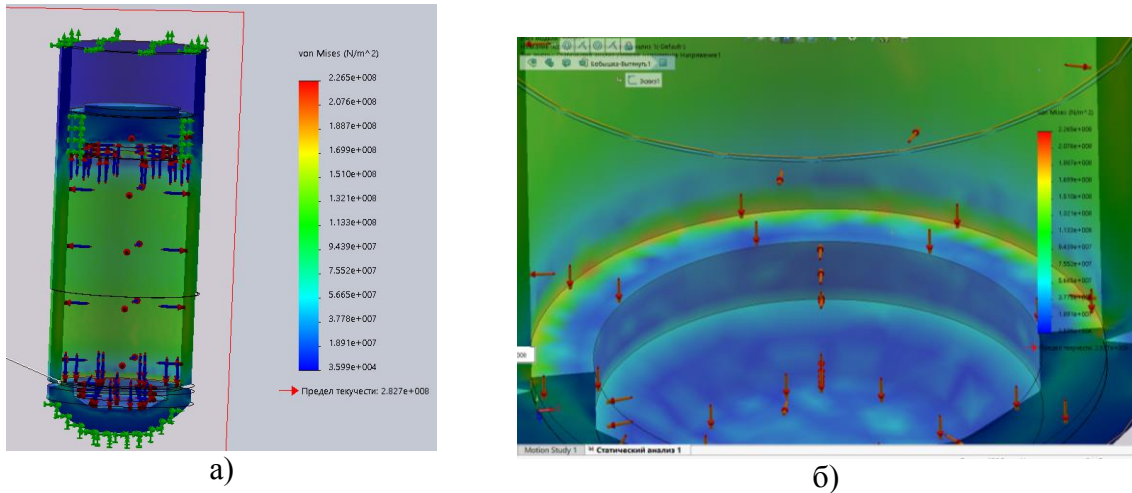


Рисунок 2 – Результаты расчета НДС гильзы для 32 МПа
 а) распределение напряжений по гильзе; б) распределение напряжений в месте соединения гильзы и дна гидростойки

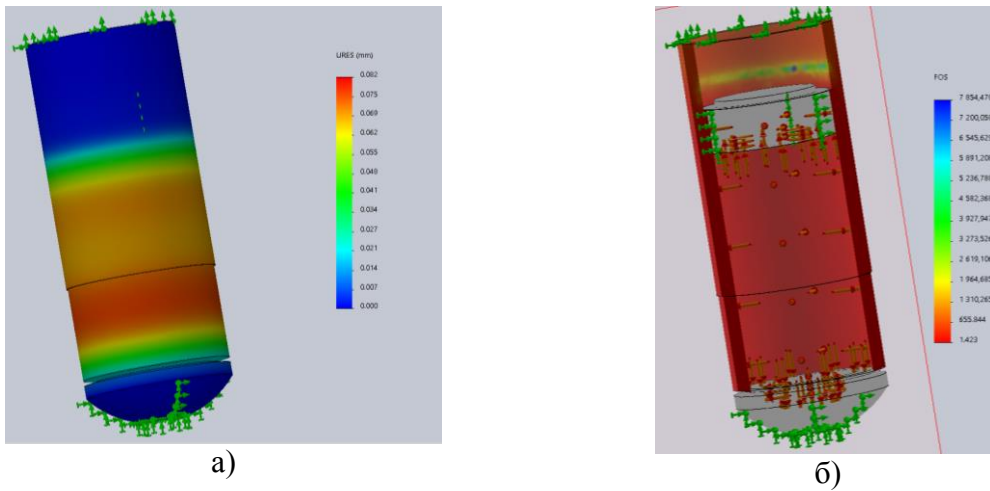


Рисунок 3 – Результаты расчета перемещений и деформаций гильзы при 32 МПа
 а) изменение перемещений по гильзе; б) определение деформаций

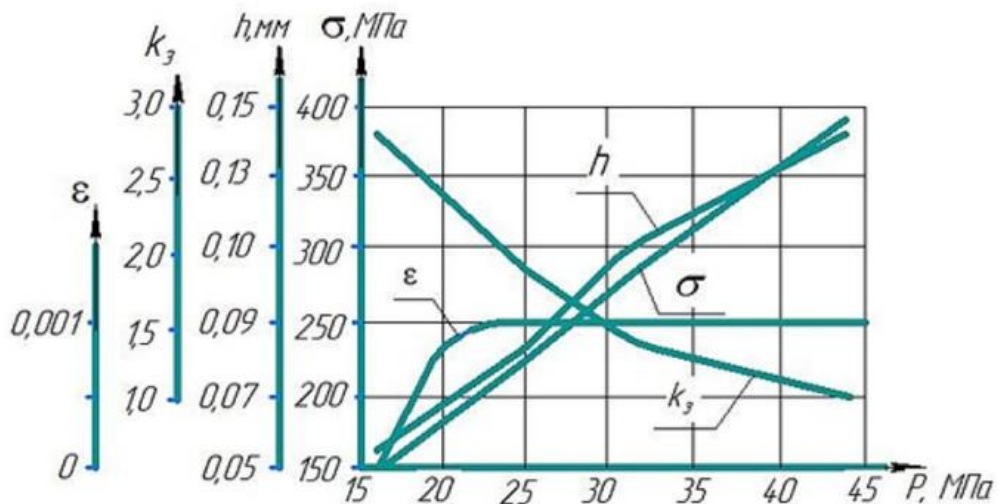


Рисунок 4 – Оценка прочности гильзы гидроцилиндра первой ступени гидростойки в зависимости от рабочего давления P
 ϵ - деформация; k_3 – коэффициент запаса прочности; h – перемещение (положение всех точек после деформации), мм; σ - напряжение, МПа; P – рабочее давление, МПа

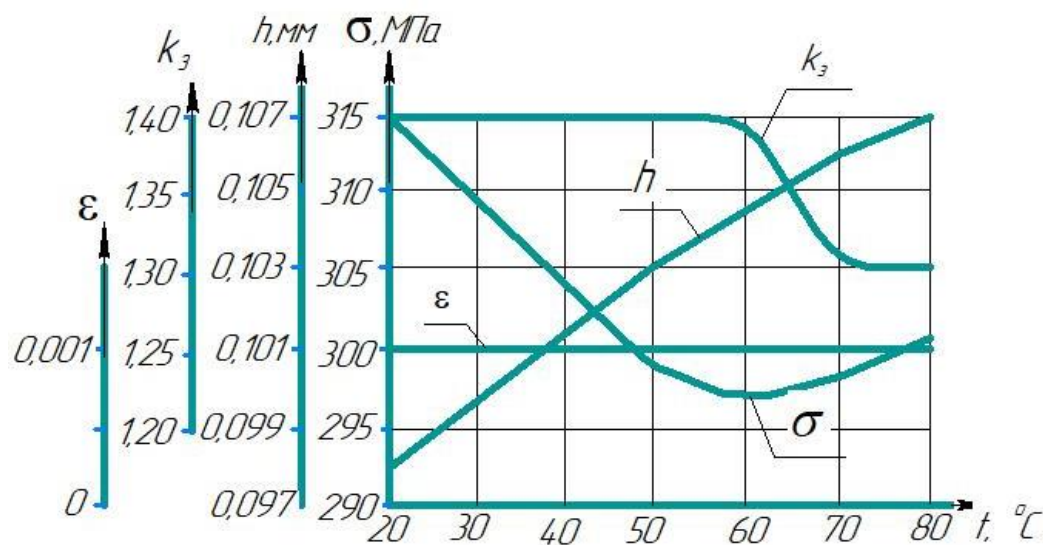


Рисунок 5 – Изменение нагрузочных характеристик в зависимости от температуры t : ε – деформация; k_3 – коэффициент запаса прочности; h – перемещение (положение всех точек после деформации), мм; σ – напряжение, МПа; t – температура рабочей жидкости, $^\circ\text{C}$

На рисунках 4 и 5 представлены результаты НДС гильзы гидроцилиндра 1-ой ступени в зависимости от давления и температуры. Анализ результатов позволяет отметить, что с увеличением давления с 15 до 44 МПа напряжения и перемещения линейно возрастают в промежутке от 150 до 384 МПа и от 0,056 до 0,14 мм соответственно, коэффициент запаса прочности уменьшается с 2,7 до 1,1. Значение деформации остается неизменным практически на всем исследуемом промежутке.

Изменение температуры в диапазоне от 20 до 70 $^\circ\text{C}$ обуславливает незначительное уменьшение коэффициента запаса прочности от 1,4 до 1,3, напряжения от 315 до 301 МПа, увеличения перемещений на 0,009 мм.

Расчеты гильзы на прочность показали максимальные напряжения, которые не превышают допустимых значений $[\sigma]$, следовательно, конструкция гильзы с позиции прочности является работоспособной.

Список литературы

- ГОСТ Р 55729-2013. Оборудование горно-шахтное. Гидростойки для механизированных крепей Общие технические условия. Москва Стандартинформ, 2014. – 23 с.
- Александров Б.А., Кожухов Л.Ф., Антонов Ю.А. и др. Горные машины и оборудование подземных разработок. Кемерово: КузГТУ, 2014. - 114 с.
- Инструкция по эксплуатации. Щитовая крепь 700/1600-2x2709-1750.
- Коровкин Ю.А., Савченко П.Ф., Саламатин А.Г., Постников В.И. Теория и практика длиннолавных систем. М.: Техгормаш, 2012. – 600 с.

УДК 622.232

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОДШИПНИКА КАЧЕНИЯ С X-ОБРАЗНЫМИ ТЕЛАМИ

С.А. Майоров, канд. техн. наук
ООО КОМПАНИЯ «ПРОМВЕНТ», г. Омск, Россия.

В статье приведен опыт работы с 3D моделями подшипникового узла качания щековой дробилки. Представлена теоретическая модель.

Ключевые слова: модель, расчет, APM-Winmachine, подшипник, напряжение.

THEORETICAL MODEL OF A ROLLING BEARING WITH X-SHAPED BODIES

S.A. Mayorov

The article presents the experience of working with 3D models of the swing bearing assembly of a jaw crusher. The theoretical model is presented.

Keywords: model, calculation, APM-Winmachine, bearing, strain.

В рамках исследований работы щековых дробилок со сложным качанием щеки, на базе Уральского государственного горного университета, был проведен ряд опытов с узлами качания щеки, подобных дробилок [2]. В процессе работы возникла необходимость в применении расчетных методов исследования, но возникли с корректностью передачи нагрузок в подшипниках, выполненных в программах 3D моделирования. Базы программ 3D-моделирования предлагают модели подшипников сильно упрощенного рода, рисунок 1, что облегчает сборку модели, но искажает расчетный результат, ввиду несоответствия действительности, а именно реальному подшипнику [5]. На рисунке 2 видно, что тела качения слиты воедино и представленные в виде кольца.

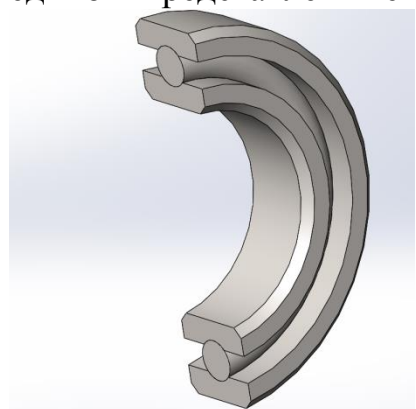


Рисунок 1 – Упрощенная модель подшипника качения, в разрезе.

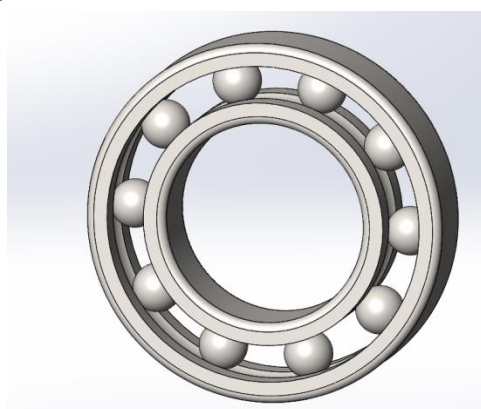


Рисунок 2 – Более точная модель подшипника качения.

Существуют базы программного обеспечения, предлагающие модели, приближенные к реальности, например рисунок 2. Но при использовании таких моделей, существенно повышается нагрузка на рабочую машину, при расчетах, к тому же, далеко не всегда машина (компьютер) способна просчитать такую сгенерированную модель, ввиду неточностей сопря-

жений, интерференции и других мелких недочетов, усложняющих процесс расчета многократно.

Предложена расчетная теоретическая модель подшипника качения, позволяющая точно имитировать напряжения внутри подшипника, а также передавать нагрузку в рамках погрешности 5 % от реального, и упростить процесс расчетов ввиду снижения времени на обработку такой модели расчетной машиной, см. рисунок 3 [3-4].

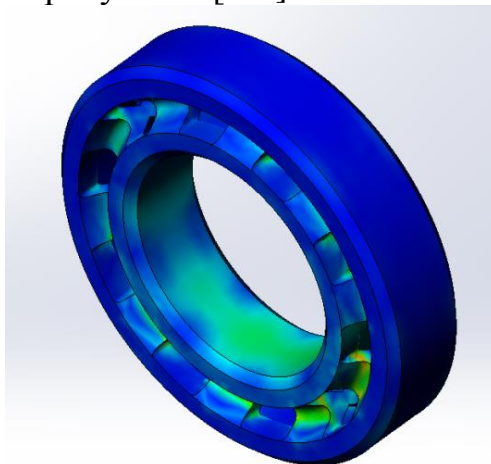


Рисунок 3 – Теоретическая модель.

Согласно проведенным исследованиям модель удовлетворяет описанным выше требованиям, что проверено опытным путем. Прикладывая одинаковую нагрузку на обе модели рисунок 1 и рисунок 3, выявлена зависимость описанная графиком и уравнением рисунка 4.

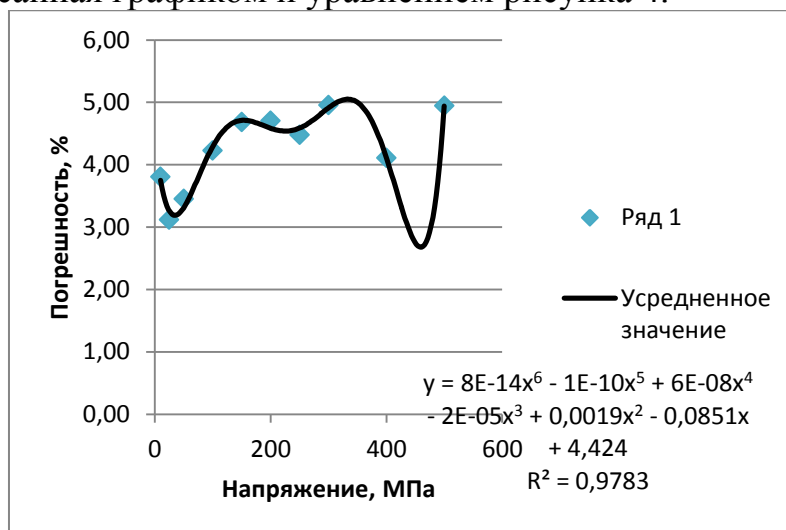


Рисунок 4 – Зависимость роста погрешности теоретической модели подшипника 210 ГОСТ 8338-75 от возникших напряжений внутри модели.

Несмотря на удовлетворительную сходимость результата, в работе этой модели не учитывались силы трения тел качения (шариков) подшипника, а так же осевая составляющая нагрузки на кольца подшипника. Доработав модель, показанную на рис. 3, а именно, разбив ее на части: внешнее кольцо, внутренне кольцо и тела качения (х-образные тела), скорректировали теоретическую и фактическую модели подшипника (рис. 1). А

именно, было приложено экспериментальное усилие, соответствующее давлению в 50 МПа, использована программа APM-Winmachine, для проверки закономерности и соответствия теоретической и фактической моделей [1, 6].

Приложив дополнительно усилие трения скольжения, с учетом коэффициента, и осевую составляющую нагрузки. Получен результат, представленный на рисунке 5, для теоретической модели, и на рисунке 6 для фактической.

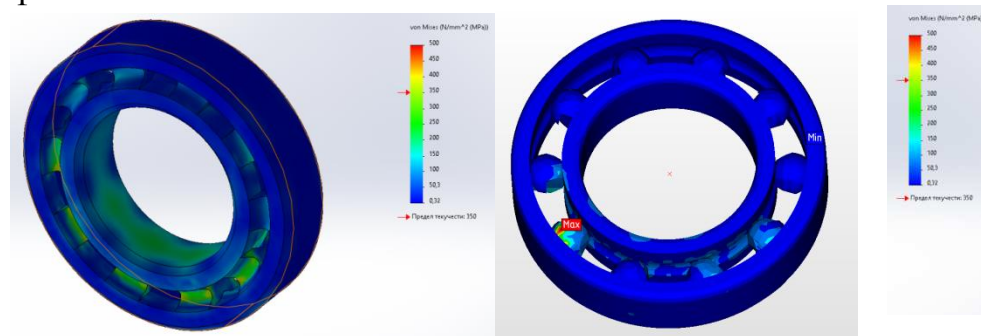


Рисунок 5 – Теоретическая модель..

Рисунок 6 – Фактическая модель

Результат оказался эквивалентен и не превышал заданную погрешность. Как видно на рисунках 5 и 6, отличия в картах моделей все же имеются, например, распределение нагрузки в теоретической модели более однородное, но не превышает заданных норм.

Выводы. Теоретическая модель соответствует фактической с заданной погрешностью 5 %, о чем и говорят карты напряжений. Необходимо продолжить исследования с более сложными видами нагружения. Необходимо рассмотреть как модель, состоящая из частей, показывает себя в рамках конструктива более сложных подшипников.

Список литературы

1. Замрий А. А. Проектирование и расчет методом конечных элементов трехмерных конструкций в среде АПМ Structure 3D. М.: АПМ, 2004. 208 с.
2. Комиссаров А. П., Лагунова Ю. А., Шестаков В. С., Орочко А. В. Особенности рабочего процесса щековых дробилок с простым и сложным качанием подвижной щеки. Горное оборудование и электромеханика, 2015. № 5, С. 31-34.
3. Калянов А. Е., Лагунова Ю. А., Шестаков В. С. Прочностной расчет станины и вала дробящего конуса конусной дробилки // Горное оборудование и электромеханика. 2015. № 8. С. 34–40.
4. Савинова Н. В., Шилов В. В., Смирнов Е. И., Логинов В. Н. Моделирование и анализ причин непрямолинейности металлоконструкций буровых вышек // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. 2015. № 2. С. 26–29.
5. Майоров С.А., Лагунова Ю.А. Сравнение модельного ряда мобильных дробилок. // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. докладов XVII международной конф. «Чтения памяти В. Р. Кубачека». Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2019. с. 197-203.
6. Майоров С. А., Лагунова Ю. А. Анализ напряженно-деформированного состояния подшипника // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 3. С. 107–117.

УДК 621.879.31

РАБОЧЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭКСКАВАТОРА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ПОДДЕРЖАНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО УГЛА РЕЗАНИЯ ЗУБЬЯМИ КОВША

А.К. Муравский, доцент, к.т.н.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь

Предложена конструкция рабочего оборудования гидравлического экскаватора, обеспечивающая повышение эффективности процесса копания грунта путём автоматического поддержания оптимального угла резания зубьями ковша. Определено положение зубьев относительно корпуса ковша, позволяющее обеспечить оптимальный угол резания.

Ключевые слова: экскаватор, рабочее оборудование гидравлического экскаватора, ковш, зуб ковша, оптимальный угол резания.

WORKING EQUIPMENT OF A HYDRAULIC EXCAVATOR WITH THE POSSIBILITY OF MAINTAINING THE OPTIMAL CUTTING ANGLE WITH BUCKET TEETH

A.K. Muravskiy

The design of the working equipment of a hydraulic excavator is proposed, which provides an increase in the efficiency of the process of digging the soil by automatically maintaining the optimal cutting angle with the bucket teeth. The position of the teeth relative to the bucket body is determined, which allows to ensure an optimal cutting angle.

Keywords: excavator, hydraulic excavator working equipment, bucket, bucket tooth, optimal cutting angle.

Угол резания, то есть угол между передней гранью зуба ковша и поверхностью среза, часто входит в формулы для определения усилий резания и копания грунтов и пород [1–3], поскольку является важнейшим параметром, влияющим на эффективность процесса копания экскаватором. Оптимальный угол резания $\alpha_{р.опт}$ находится в диапазоне от 30 до 35° [1], что позволяет обеспечить минимальную силу резания при удовлетворительной прочности зуба. Изменение угла резания от 40 до 60°, в отдельных случаях, вызывает удвоение лобовых сопротивлений внедрению зуба, а его значение менее 30° также может вызвать увеличение сил сопротивления, что наблюдается при работе вдоль напластования грунтов и пород [2].

Обеспечение оптимального угла резания способствует снижению силы резания зубьями ковша. Это позволяет снизить энергоёмкость процессов резания и копания грунтов и горных пород, уменьшить нагрузки на горную машину, производить разработку массивов большей прочности, расширить технологические возможности экскаватора, повысить производительность труда.

Процесс копания горных пород и грунтов гидравлическим экскаватором производится, как правило, путём использования ручного управления рабочим оборудованием. Обычно процесс копания реализуется поворотом ковша, поворотом рукояти, совмещением поворота ковша и рукояти, при этом поддержание требуемой толщины стружки производят подъёмом

или опусканием стрелы экскаватора [4]. В процессе копания угол резания зубьями ковша может изменяться или оставаться постоянным, его величина не всегда соответствует оптимальному значению.

Представленное рабочее оборудование гидравлического экскаватора дает возможность, при использовании ручного управления положением стрелы, рукояти и ковша, обеспечить оптимальный угол резания зубьями ковша в автоматическом режиме [5].

Рабочее оборудование включает (рис. 1) ковш 1 с подвижными зубьями 2, рукоять 3, стрелу 4, а также датчики углового положения стрелы 5, рукояти 6, ковша 7 и подвижных зубьев 8. Информация от датчиков поступает в блок управления движением подвижных зубьев.

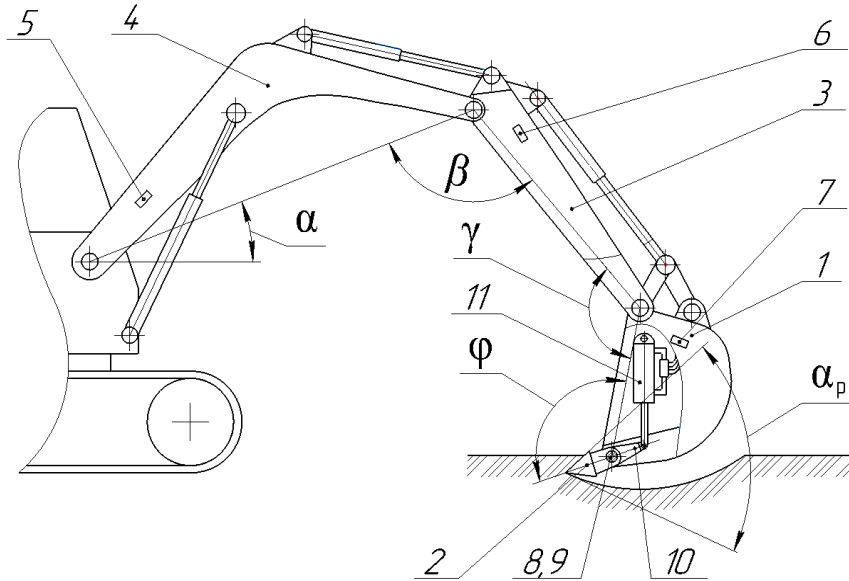


Рис. 1. Схема рабочего оборудования

Подвижные зубья 2 жестко соединены между собой, валом 9 и рычагами 10. Гидроцилиндры 11, имеющие шарнирное соединение с боковыми стенками ковша 1 и рычагами 10, при движении штоков поворачивают подвижные зубья 2 относительно корпуса ковша 1, что дает возможность принудительного изменения угла резания α_p зубьями 2 ковша 1 в процессе копания.

При копании массива блок управления движением подвижных зубьев получает информацию от датчиков углового положения стрелы 5 (угол α), рукояти 6 (угол β), ковша 7 (угол γ), подвижных зубьев 8 (угол ϕ), определяет требуемое значение угла $\phi_{\text{опт}}$ положения подвижных зубьев 2 относительно корпуса ковша 1 для обеспечения оптимального значения угла резания $\alpha_{p,\text{опт}}$. Если текущее значение угла ϕ не соответствует требуемому значению (оптимальный угол резания $\alpha_{p,\text{опт}}$ не обеспечивается), то автоматически гидроцилиндрами 11 выполняется поворот подвижных зубьев 2 относительно корпуса ковша 1 до требуемого значения угла $\phi_{\text{опт}}$, что соответствует оптимальному углу резания $\alpha_{p,\text{опт}}$ зубьями ковша.

Найдем угол φ , определяющий положение подвижных зубьев 2 относительно корпуса ковша 1, когда процесс копания производится поворотом ковша относительно рукоятки, при этом стрела и рукоять неподвижны (рис. 2).

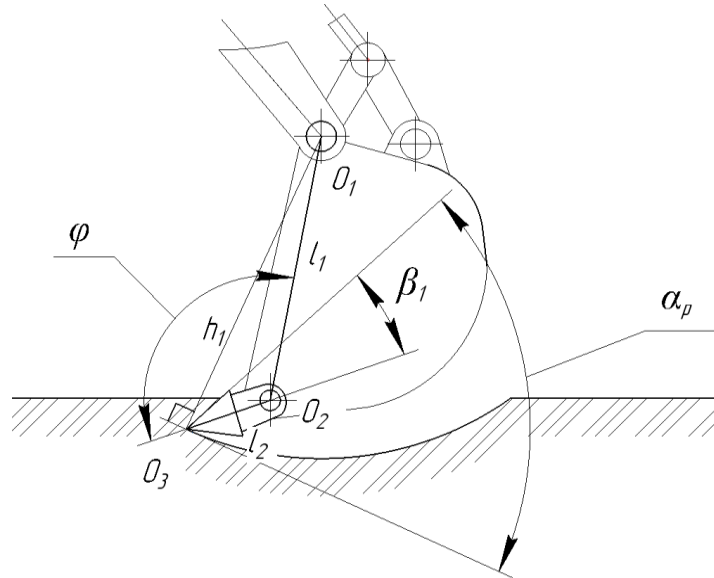


Рис. 2. Расчётная схема ковша с подвижными зубьями

Можно заметить, что для треугольника $O_1O_2O_3$ угол, определяющий положение подвижных зубьев относительно корпуса ковша, (рад)

$$\varphi = \pi - \angle O_1O_3O_2 - \angle O_3O_1O_2.$$

Так как касательная к траектории движения режущей кромки зуба и отрезок O_1O_3 образуют угол 90° , то

$$\angle O_1O_3O_2 = \frac{\pi}{2} - \alpha_p + \beta_1,$$

где α_p – угол резания, рад; β_1 – угол между передней гранью подвижного зуба и отрезком O_2O_3 , рад. Угол β_1 зависит от конструкции подвижного зуба.

По теореме синусов

$$\frac{l_2}{\sin \angle O_3O_1O_2} = \frac{l_1}{\sin \angle O_1O_3O_2}.$$

Соответственно,

$$\angle O_3O_1O_2 = \arcsin \left(\frac{l_2}{l_1} \sin \angle O_1O_3O_2 \right) = \arcsin \left(\frac{l_2}{l_1} \sin \left(\frac{\pi}{2} - \alpha_p + \beta_1 \right) \right).$$

Следовательно,

$$\varphi = \pi - \left(\frac{\pi}{2} - \alpha_p + \beta_1 \right) - \arcsin \left(\frac{l_2}{l_1} \sin \left(\frac{\pi}{2} - \alpha_p + \beta_1 \right) \right).$$

Таким образом,

$$\varphi = \frac{\pi}{2} + \alpha_p - \beta_1 - \arcsin \left(\frac{l_2}{l_1} \cos(\alpha_p - \beta_1) \right).$$

При копании только ковшом угол φ , определяющий положение подвижных зубьев относительно корпуса ковша, зависит от конструктивных параметров ковша (угол β_1 , длины l_1 и l_2) и угла резания α_p .

Для обеспечения оптимального угла резания $\alpha_{p, \text{опт}}=30\text{--}35^\circ$ требуется установить подвижные зубья относительно корпуса ковша на угол

$$\varphi_{\text{опт}} = \frac{\pi}{2} + \alpha_{p, \text{опт}} - \beta_1 - \arcsin\left(\frac{l_2}{l_1} \cos(\alpha_{p, \text{опт}} - \beta_1)\right).$$

Предлагаемое рабочее оборудование гидравлического экскаватора способно автоматически поддерживать оптимальный угол резания зубьями ковша при ручном управлении стрелой, рукоятью и ковшом в процессе копания, что позволяет снизить энергоёмкость процесса резания грунтов и горных пород, повысить эффективность процесса копания. Для случая копания только ковшом (стрела и рукоять неподвижны) получено уравнение, позволяющие найти угол, определяющий положение подвижных зубьев относительно корпуса ковша для обеспечения оптимального угла резания.

Список литературы

1. Зеленин А.Н., Баловнев В.И., Керов И.П. Машины для земляных работ. – М.: Машиностроение, 1975. – 424 с.
2. Подэрни Р.Ю. Механическое оборудование карьеров: учебник для вузов. – М.: Изд-во МГГУ, 2007. – 680 с.
3. Ветров Ю.А., Баладинский В.Л. Машины для специальных земляных работ. – Киев: Вища школа, 1980. – 192 с.
4. Беркман И.Л., Раннев А.В., Рейш А.К. Одноковшовые гидравлические экскаваторы. – М.: Высш. школа, 1973. – 365 с.
5. Рабочее оборудование экскаватора: пат. 2779252 Рос. Федерация, МПК E02F 3/28, E02F 3/43. / Г.Д. Трифанов, А.К. Муравский; заяв. и патентооблад. ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». – № 2022103968; заявл. 16.02.2022; опубл. 05.09.2022, Бюл. № 25.

УДК 622.271

МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ НАГРУЖЕННОСТИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА

А.П. Комиссаров^{1,2}, проф., Р.Ш. Набиуллин¹, доц.

¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ

²«УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, РФ

Рассмотрены современные методы определения и фиксации напряжений, возникающих в металлоконструкциях карьерных экскаваторов на примере объекта исследования экскаватора ЭКГ-20. Работа проведена в рамках комплексных испытаний в реальных условиях эксплуатации, в режимах, которые позволяют реализовать максимальные усилия на выходных звеньях механизмов экскаватора, с фиксацией деформаций, которые возникают в момент реализации этих усилий в характерных точках силовых металлоконструкций экскаватора.

Ключевые слова: деформация, главные напряжения, электротензометрия, тензодатчик, напряженно-деформированное состояние, зона концентрации напряжений, неразрушающий контроль, нагруженность.

METHOD OF COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF LOADING OF METAL STRUCTURES OF MINING EXCAVATOR

A.P. Komissarov, R.Sh. Nabiullin

Considers modern methods for determining and fixing stresses arising in the power metal structures of mining excavators using the example of the object of study of the EKG-20 excavator. The work was carried out within the framework of force tests in real operating conditions, in modes that allow realizing maximum forces on the output links of the excavator mechanisms, with fixation of the deformations that occur at the time of the implementation of these forces at the characteristic points of the power metal structures of the excavator.

Keywords: deformation, principal stresses, electrotensiometry, strain gauge, stress-strain state, stress concentration zone, non-destructive testing, loading.

Введение. Показателями нагруженности являются деформации и напряжений, как результат взаимодействия внешних и внутренних сил.

Разработка методики эффективной оценки напряженно-деформированного состояния металлоконструкций является актуальной задачей, так как техническое диагностирование технических устройств устанавливает необходимость выполнения таких мероприятий, как:

- получение информации о фактическом нагружении технического устройства в реальных условиях эксплуатации;
- оценка технического состояния технического устройства, включающая исследование напряженно-деформированного состояния (НДС);

Известно, что под действием эксплуатационных нагрузок работа металла в наиболее нагруженных элементах экскаваторов в основном определяется сдвиговой деформацией в зонах концентрации напряжений (ЗКН). При этом накопление усталостной повреждаемости металла с образованием трещин во многих случаях происходит в условиях мало и многоциклового рабочей нагрузки. Очевидно, что традиционные методы неразрушающего контроля (НК), такие, как ультразвуковая дефектоскопия

(УЗД), магнитопорошковая дефектоскопия (МПД), рентген, направленные по своему назначению на обнаружение уже развитых дефектов, принципиально не могут предотвратить усталостные повреждения. В ходе промышленных исследований установлено, что только с помощью методов диагностики напряженно-деформированного состояния возможно выявление источников развития повреждений до проявления дефекта.

К методам такой диагностики могут быть отнесены:

- метод магнитной памяти металла (МПМ);
- метод электротензометрии;

Цель исследования – комплексная диагностика и определение показателей нагруженности металлоконструкций карьерного экскаватора.

Задачи исследования:

- Проверка и уточнение расчетных, наиболее нагруженных участков металлоконструкций;
- Определение деформаций, возникающих в наиболее нагруженных участках металлоконструкций;
- Оценка нагруженности металлоконструкций, через расчет главных напряжений, возникающих в наиболее нагруженных участках.

Решение задач исследования.

Уникальность метода магнитной памяти металла заключается в том, что он основан на использовании эффекта возникновения высокой намагниченности металла в зонах больших деформаций по сравнению со средней деформацией по всему объему изделия, обусловленных неудачным сочетанием особенностей конструкции, возможными дефектами и неоднородностью структуры металла, и действием рабочих нагрузок,

Метод основан на анализе распределения собственного магнитного поля рассеяния на поверхности изделий с целью определения зон концентрации напряжений.

К преимуществам этого метода можно отнести следующие факторы:

- не требуется применение специальных намагничивающих устройств, так как используется явление самонамагничивания деталей в процессе их работы под действием циклических нагрузок;
- места концентрации напряжений заранее не известны и определяются в процессе контроля;
- не требуется зачистка металла и другая какая-либо подготовка контролируемой поверхности;
- высокая скорость контроля (до 2 м/сек);
- для выполнения контроля по предлагаемому методу используются приборы, имеющие малые габариты, автономное питание и регистрирующие устройства.

Основная задача, решаемая методом магнитной памяти металла – определение зон концентрации напряжений для последующего определения показателей нагруженности в этих зонах. При этом определяются участки металлоконструкций, с остаточными напряжениями от воздей-

ствия рабочих нагрузок и остаточными напряжениями, которые имели место в исходном состоянии детали (после ее изготовления на заводе и монтаже).

На рис. 1, представлен пример графика напряженности магнитного поля и градиента поля. Главным признаком зоны концентрации напряжений, является аномальное распределение напряженности поля в локальной зоне с максимальным градиентом.

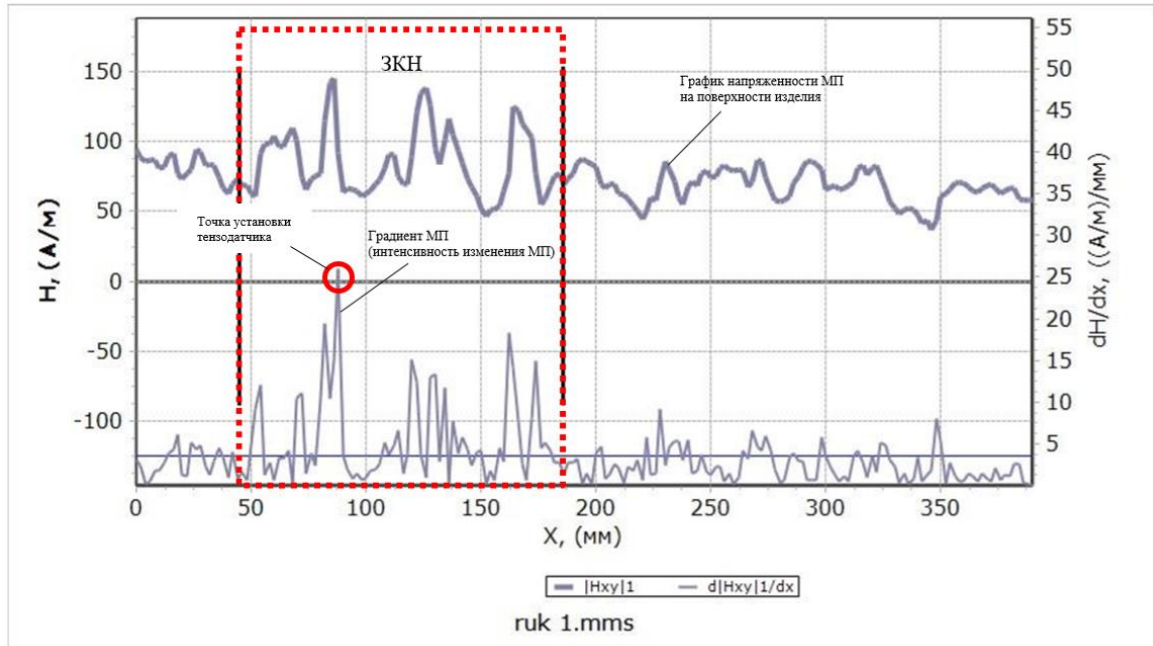


Рис.1 Результирующая магнитограмма.

Далее, для оценки нагруженности металлоконструкций необходимо провести измерение деформаций, в максимально нагруженных точках, которые выявлены на предыдущем этапе в результате экспресс сканирования поверхности металлоконструкции методом магнитной памяти металла. Наиболее современными методами измерения деформаций являются электрические методы. Измерение деформаций с помощью электрических методов, возможно, потому что деформация тела вызывает изменение некоторых электрических параметров (сопротивления, емкости, индуктивности). Из электрических методов наибольшее распространение получил – метод электротензометрии.

Метод электротензометрии заключается в измерении малых деформаций в отдельных точках детали или модели и последующем переходе от деформаций к напряжениям.

Исходными данными для расчета параметров нагруженности в характерных точках являются значения величин электрических напряжений с тензодатчиков, пропорциональные деформациям.

Главные напряжения определяются на основании известных формул из обобщенного закона Гука:

$$\begin{cases} \sigma_{\max} = \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_{\max} + \mu \cdot \varepsilon_{\min}) \\ \sigma_{\min} = \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_{\min} + \mu \cdot \varepsilon_{\max}) \end{cases} \quad (1)$$

где: $\sigma_{\max} = \sigma_1$; $\sigma_{\min} = \sigma_2$; $\varepsilon_{\max} = \varepsilon_1$; $\varepsilon_{\min} = \varepsilon_2$; μ - коэффициент Пуассона, для стали $\mu = 0,25-0,33$; E – модуль упругости материала контролируемого образца, для стали 210000 МПа.

Выводы.

Комплексное использование методов магнитной памяти металла и электротензометрии, как взаимодополняющих, позволяет:

- повысить эффективность оценки нагруженности металлоконструкций, так как предварительно экспресс методом МПМ проводится выявление наиболее нагруженных участков, где и размещаются тензодатчики для измерения деформаций;

- повысить эффективность неразрушающего контроля, направленного на своевременное выявление максимально нагруженных участков, где происходит накопление усталостной повреждаемости металла.

Список литературы

1. Власов В.Т., Дубов А.А. Физические основы метода магнитной памяти металла. Москва: ЗАО «Тиссо», 2004. 424 с.
2. Приказ Ростехнадзора от 20.10.2020 N 420 "Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила проведения экспертизы промышленной безопасности" (Зарегистрировано в Минюсте России 11.12.2020 N 61391);
3. Забродин В.П., Серегин А.А., Суханова М.В., Портакоев А.Б. Экспериментальные методы определения напряжений и деформаций. Учебное пособие. – зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2017. – 104 с. 2013. Vol. 10 Iss. 1. P. 29-36.

УДК 624.078

ВЫБОР СХЕМЫ СИЛОВОГО КАРКАСА МАЧТЫ БУРОВОГО СТАНКА С ОТКРЫТОЙ ГРАНЬЮ

Н. В. Савинова, Д. О. Шпанькова

ФБГОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ

Проведен анализ стержневых каркасов мачт буровых станков для применения их в конструкции мачты с открытой гранью. Выбор основан на сравнении коэффициента запаса устойчивости при прочих равных параметрах. Для выбранной схемы выполнены исследования напряженно-деформированного состояния.

Ключевые слова: буровой станок, мачта с открытой гранью, силовой каркас, устойчивость, рабочие режимы.

SELECTION OF THE POWER FRAME SCHEME OF THE DRILLING RIG MAST WITH AN OPEN FACE

N. V. Savinova, D. O. Shpankova

The article analyzes the core frames of masts of drilling rigs for their use in the construction of masts with an open face. The choice is based on a comparison of the stability margin coefficient with other parameters being equal. For the selected scheme, studies of the stress-strain state were performed.

Keywords: drilling rig, mast with an open side, power frame, stability, operating modes.

Для осуществления спуска и подъема бурового инструмента служит пространственная металлоконструкция - мачта. В зависимости от типа мачта буровой установки может быть одностоечной, плоскостной или пространственной. Пространственная мачта выполняется из различных прокатных элементов, соединенных между собой сварными соединениями.

Основным расчетным случаем при проектировании металлоконструкции мачты является проверка ее устойчивости при бурении. Потеря устойчивости пространственных металлоконструкций проявляется в выпучивании сжатых продольных элементов под действием осевых нагрузок. Возможна потеря общей устойчивости или местной. Потеря общей устойчивости конструкции мачты нарушает ее жесткость, изменяет ее первоначальную форму и приводит к потере работоспособности.

Высота буровой мачты составляет от 4 до 25 метров в зависимости от используемой буровой установки, характера скважины и типа структуры каркаса мачты. Стержневые каркасы мачт имеют разнообразное строение (рис. 1). Для изготовления металлоконструкций мачт используется различный сортамент: трубы, трубы квадратные, швеллер, уголок.

На буровую мачту действуют нагрузки разные по типу и продолжительности воздействия: сила тяжести бурового снаряда; сила тяжести металлоконструкции вышки; рабочие усилия (осевые нагрузки, крутящие и изгибающие моменты; ветровая нагрузка, а также возможные случайные нагрузки, не относящиеся к расчетным).

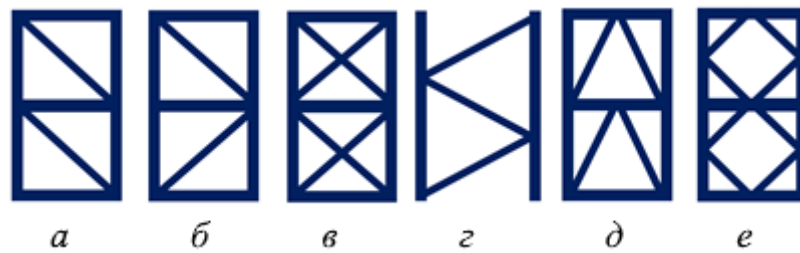


Рис. 1. Стержневые каркасы мачт буровых установок:

а - раскосная с восходящими раскосами; *б* - треугольная с дополнительными стяжками; *в* – крестовая; *г* – треугольная; *д* – полураскосная (*v*-образная); *е* - ромбическая

Проведены исследования различных схем силового каркаса мачт с целью определения влияния видов раскосов на устойчивость мачты при бурении скважин. Математические исследования выполнены в системе автоматизированного расчета и проектирования механических систем APM WinMachine, НПЦ АПМ (г. Королев). В модуле APM WinStructure3D, который предназначен для комплексного анализа трехмерных конструкций.

На первом этапе исследовалось влияние схемы силового каркаса и количества секций раскосов на устойчивость мачты с открытой гранью, определялись коэффициенты запаса устойчивости и величины напряжений. На втором этапе – определялась работоспособность выбранной схемы каркаса для различных рабочих и транспортного режимов.

Модель геометрии. Для выполнения расчетов были построены каркасные модели мачты с открытой гранью с различными вариантами расположения раскосов и количеством секций (см. рис. 1), всего 18 моделей. Габаритные размеры для всех моделей были неизменны: 13×3,5×2,5 (В×Ш×Г). Рассматривались схемы с восемью, шестью и пятью группами раскосов. Во всех моделях использовался одинаковый профиль для одноименных элементов: продольные - уголок 100×10 ГОСТ8509-93; стяжки - квадратная труба 100×6 ГОСТ 8639-82; раскосы - квадратная труба 50×3 ГОСТ 839-82.

Модель нагружения. При составлении модели нагружения принимались следующие условия: осевая нагрузка оставалась постоянной для всех схем; сила тяжести металлоконструкции автоматически вычислялась системой, для учета силы тяжести навесного оборудования множитель собственного веса был принят равным 1,5.

Потеря устойчивости происходит под действием сжимающих сил Q_{Σ} , для мачт буровых станков величина такой нагрузки будет складываться из осевой нагрузки P_{oc} и силы тяжести мачты и оборудования (буровой головки, штанг и т.д.).

$$Q_{\Sigma} = P_{oc} + g \sum m_i.$$

При выполнении расчетов допускаем, что распределение нагрузок происходит равномерно на продольные элементы. Таким образом, нагруз-

ку распределяется на 4 узловых точки ветвей, лежащих в выбранном сечении:

$$Q_i = \frac{Q_{\Sigma}}{i}.$$

Расчетным случаем для оценки устойчивости и выбора количества секций всех схем силового каркаса стал вариант - мачта в вертикальном положении верхнее расположение силового привода (рис. 2).

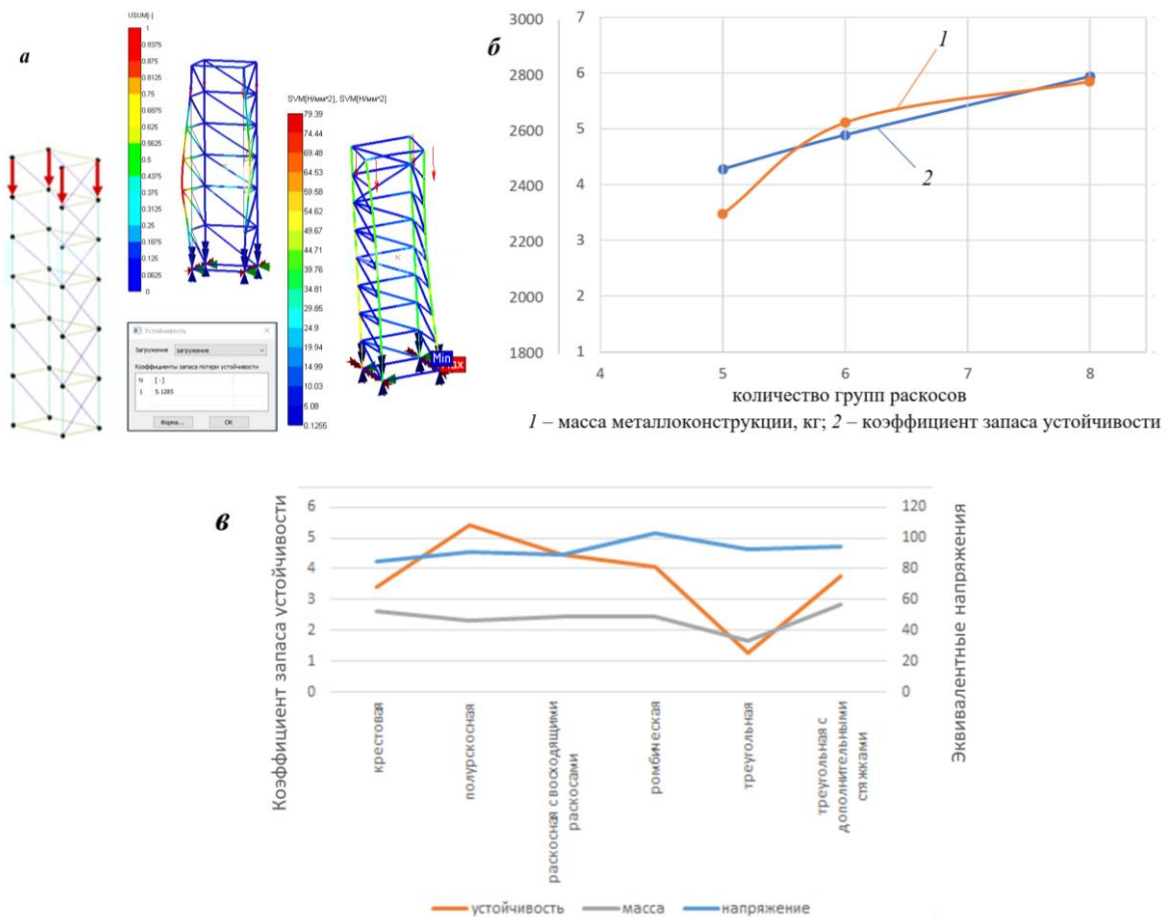


Рис. 2. Результаты первого этапа исследований:

а – каркасная модель, запас устойчивости, карта напряжений;

б – сводный график результатов для схемы с восходящими раскосами;

в – сводный график результатов для схем с одинаковым количеством секций

Анализ полученного по результатам расчетов графика показывает (рис. 2, *в*), что наилучшим конструктивным решением для мачты с открытой гранью высотой тринадцать метров являются схемы полураскосная и с восходящими раскосами с шестью секциями (рис. 2, *б*).

Для схемы силового каркаса с шестью секциями восходящих раскосов в результате расчетов были получены карты напряжений и перемещений по следующим комбинациям нагружений:

1. Мачта в вертикальном положении, нижнее расположение силового привода;

2. Мачта под углом 15° верхнее расположение силового привода;
3. Мачта под углом 15° нижнее расположение силового привода;
4. Мачта в вертикальном положении нижнее расположение силового привода и ветровая нагрузка;
5. Мачта под углом 15° верхнее расположение силового привода ветровая нагрузка;
6. Мачта под углом 15° нижнее расположение силового привода ветровая нагрузка;
7. Транспортное положение.

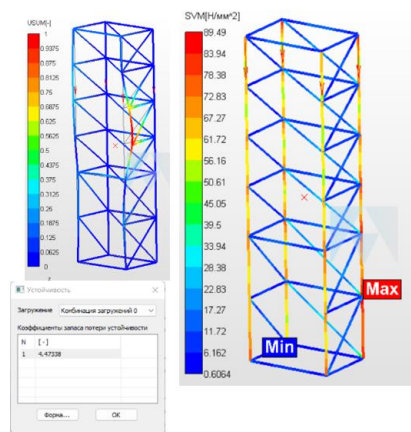


Рис. 3. Карты напряжений и устойчивости

Анализ полученных карт доказал работоспособность выбранной схемы силового каркаса. Один из расчетных случаев показан на рисунке 3.

Проведенные исследования показали, что разносторонний анализ структуры металлоконструкции позволяет получить конструкцию близкой к оптимальной с учетом большого количества критериев.

Список литературы

1. Сайтов В. И. Проектирование металлоконструкций горных машин: Учеб. пособие / В.И. Сайтов, Н.В. Савинова, В.С. Шестаков; Под общ. ред. В.И. Сайтова; М-во образования Рос. Федерации. Ур. гос. горн.-геол. акад. - Екатеринбург : Изд-во УГГГА, 2001. - 165 с.
2. Замрий А.А. Проектирование и расчет методом конечных элементов в среде APM Structure3D. Учебное пособие Москва. 2010; Изд-во АПМ. – 376 с.
3. Подэрни Р.Ю. Механическое оборудование карьеров, учебник для вузов. — 6-е изд., перераб. и доп. — М.: МГГУ, 2007. —680 с: ил.
4. Абдулкаримов М.К., Сайтов В.И. Расчет мачты буровой установки. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016.- №11. - С. 14-17.

УДК.62-233

ОБРАТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ МЕХАНИЗМОВ – ЦЕЛЬ, СПОСОБ, РЕЗУЛЬТАТ

Н. В. Савинова^{1,2}, А.В. Штелле²

¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ

²УНМ «М-ЛАБС»

Статья посвящена методике обратного проектирования по физической модели. Описан опыт по выполнению реверсивного инжиниринга для элементов механических передач: измерения, обоснование геометрических характеристик, выполнение проверочных расчетов для выявления допускаемых нагрузок.

Ключевые слова: обратное проектирование, импортозамещение, 3D сканирование, червячные передачи, 3D модели.

REVERSE ENGINEERING OF MECHANISM PARTS – GOAL, METHOD, RESULT

N.V. Savinova, A.V. Shtelle

The article is devoted to the method of reverse engineering based on a physical model. The experience of performing reverse engineering for mechanical transmission elements is described: measurements, justification of geometric characteristics, performing verification calculations to identify permissible loads.

Keywords: reverse engineering, import substitution, 3D scanning, worm gears, 3D models.

По данным министерства промышленности и торговли, а также министерства энергетики Российской Федерации к 2022 году в нефтедобывающей и горной отрасли в среднем около 70% различного оборудования было импортным (рис. 1) [1, 2, 3]. Оно поставлялось преимущественно из Европы, США, Японии и Китая. С началом СВО поставки ремкомплектов и запасных частей для этого оборудования резко сократились. Так как указанные отрасли являются ключевыми для экономики нашей страны, остро встал вопрос о создании своей базы для производства комплектующих и запасных частей для импортного оборудования. Например, для оперативного поиска партнеров на форуме «Горпромэкспо-2022» ассоциация «Горнопромышленники России» представила платформу «Горпром». Через платформу у компаний есть возможность размещать свои запросы или предложения, напрямую общаться с предполагаемыми партнерами [3].

Одно из направлений решения этого непростого вопроса – запуск выпуска необходимых запчастей на основе обратного проектирования, что позволит вести дальнейшую эксплуатацию оборудования, не разрывая существующих технологических цепей.

Целью обратного проектирования является получение в короткие сроки информации с физического объекта для подготовки производства аналога. Под информацией понимаются физико-механические свойства, геометрические параметры, технологические характеристики т.д.

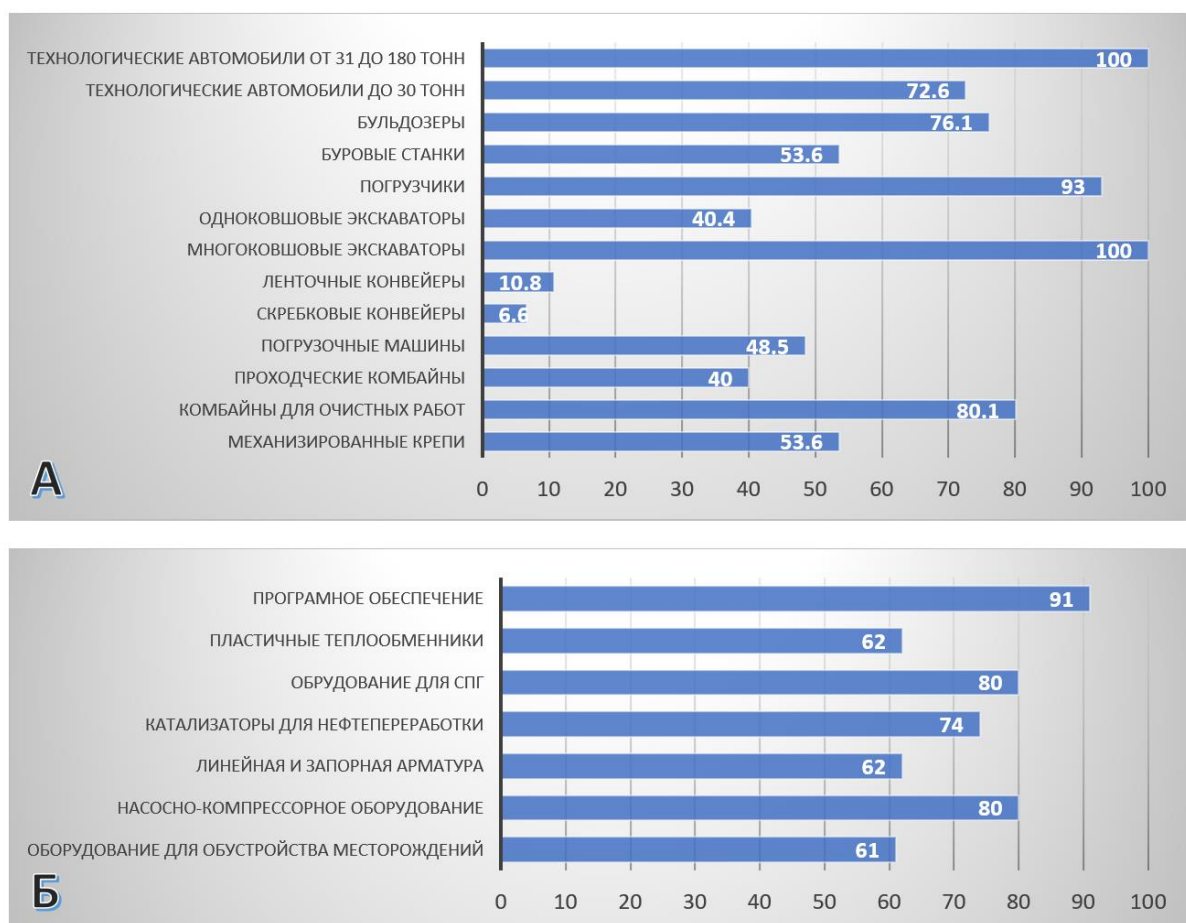


Рис. 1. Доля зарубежного оборудования в отраслях:
 А - горнодобывающей; Б - нефтедобывающей

Выполнение обратного проектирования включает следующие шаги, последовательность которых может варьироваться:

- Определение материала изделия;
- Выполнение замеров конструктивных частей и конструктивных элементов детали;
- Проведение 3D сканирования (при необходимости) детали;
- Анализ твердости и шероховатости поверхностей объекта;
- Проверка расчетом несущей способности изделия;
- Моделирование объекта;
- Подготовка модели к производству: нанесение атрибутов на модель или генерация и оформление чертежа;
- Изготовление и испытание опытного образца, корректировка документации при необходимости.

В качестве примера, ниже представлена одна из работ УНМ «М-ЛАБС» по обратному проектированию червячной пары. Представленные для реверс инжиниринга запасные части – червяк и червячное колесо (рис. 2, а). По заявленным характеристикам, материалом червяка является легированная сталь со средним содержанием углерода. Материал колеса – оловянная бронза, так как рабочие скорости передачи выше 5 м/с. 3D сканирование

выполнялось на 3D сканере RangeVision с точностью 0,05 мм (рис. 2, б). Обработка фасетного тела проводилась в специализированном ПО. Были выполнены замеры универсальными измерительными приборами, результаты замеров и выполненных по ним расчетов [5] приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты замеров и расчетов

Диаметр вершин витков червяка d_a , мм	75,18 75,02 74,94	Угол подъема винтовой линии γ , град	16°41'56''	Межосевое расстояние, a_w , мм	125
Диаметр впадин червяка d_f , мм	42,10 42,02 41,96	Высота витка, h , мм	16,5	Коэффициент диаметра червяка q	8
Количество заходов червяка	3	Модуль m , мм (не стандартный)	7,5	Коэффициент смещения червяка, x	+0,1667
Длина нарезанной части червяка b_1 , мм	103	Вид червяка	ZA	Исходный контур (принят)	ГОСТ 19036-94
Количество зубьев колеса	25	Передаточное отношение u	8,33	Начальный диаметр червяка d_w , мм	62,5

Трехмерная модель детали выполнена в ПО компании Аскон Компас 3D с использованием расчетного модуля Gears. В этом же ПО была проведена верификация твердотельной построенной модели по точной геометрии обработанного скана (рис. 2, в), что подтвердило качество выполненных замеров и расчетов.

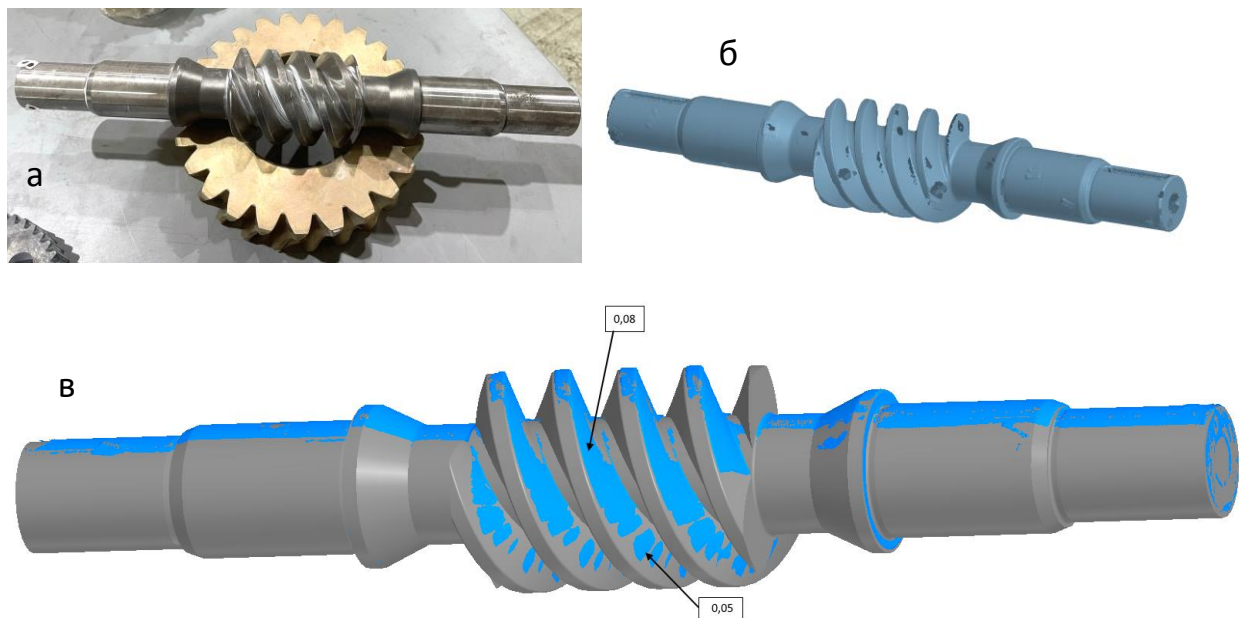


Рис. 2. Объекты обратного проектирования:
а – червячная пара; б – STL модель; в – анализ твердотельной построенной модели по точной геометрии обработанного скана

Расчеты и построение модели показали, что передача имеет качественные параметры, но в ней использовался нестандартный модуль, что

по всей видимости увеличит стоимость изготовления элементов передачи. Для уменьшения трудозатрат было предложено перерасчет передачи в стандартизированные параметры (табл. 2).

Таблица 2

Предлагаемая корректировка

Количество заходов червяка	4	Модуль m , мм	6,3	Вид червяка	ZA
Количество зубьев колеса	33	Коэффициент диаметра червяка q	6,3	Исходный контур (принят)	ГОСТ 19036-94
Межосевое расстояние, a_w , мм	125	Передаточное отношение u	8,25	Коэффициент смещения червяка, x	0,1913
Длина нарезанной части червяка b_1 , мм	103	Погрешность	0,9%	Начальный диаметр червяка d_w , мм	42,1

Список литературы

1. <https://www.tek-all.ru/news/id7061-v-ugolnoy-otrasli-importnogo-oborudovaniya-bolshe-chem-v-neftegazovoy/>
2. <https://topwar.ru/78535-est-zamena.html>
3. <https://gorprom.market/>
4. Плакиткина Л.С., Плакиткин Ю.А., Дьяченко К.И. Оценка импортозависимости российских угольных компаний от закупок зарубежного оборудования. // «Горная Промышленность» - 2018 №3.(139). – С. 35-39.
5. ГОСТ 19650-97 Передачи червячные цилиндрические: Межгосударственный стандарт: Принят межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол N 11 от 23 апреля 1997 г.: Введен в действие непосредственно в качестве государственного стандарта Российской Федерации с 1 января 2002 г. - Текст непосредственный.

УДК 622.6-83

ОЦЕНКА НАГРУЖЕННОСТИ ПРИВОДОВ КОМБАЙНОВ «УРАЛ-20Р» ПРИ ОТРАБОТКЕ ЗАБОЯ НЕПОЛНЫМ СЕЧЕНИЕМ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ

Д. И. Шишлянников¹, д.т.н., профессор, М.Г. Трифанов¹, к.т.н., доцент,
Д.С. Грибов², аспирант, И.Х. Тюбеев¹, студент, Д.А. Ситников¹, студент
¹ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический уни-
верситет» (г. Пермь)
² АО «ВНИИ ГАЛУРГИИ» (г. Санкт-Петербург)

Рассмотрены особенности работы проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р» в процессе подрубки пласта. Изложены основы методики экспериментальной оценки нагруженности приводов комбайнов «Урал-20Р». Описано устройство и принцип работы программно-регистрирующего комплекса «ВАТУР». Приведены результаты исследований процесса формирования нагрузок на элементы приводов комбайнов при подрубке пласта. Доказано, что работа комбайнов на подрубке пласта сопровождается превышением нормативных нагрузок, что приводит к ускоренному расходу ресурса и аварийным отказам редукторов и электродвигателей данных добычных машин.

Ключевые слова: комбайн «Урал-20Р», нагруженность, привод, режим работы, подрубка, добыча калийно-магниевых руд.

ESTIMATION LOAD OF DRIVES OF THE «URAL-20R» MACHINES IN CONDITIONS OF DRILLING BY NOT FULL SECTION AREA OF OPERATING MEMBERS

D.I. Shishlyannikov, M.G. Trifanov, D.S. Gribov, I.H. Tyubeev, D.A. Sitnikov

There are considered the features of the work of heading-and-winning machine «Ural-20R» in undercut of ore massive conditions. Shows that working of the regular system of control and monitoring isn't correct in this conditions. Results of research of process of forming load on drives parts of heading-and-winning machines in undercut of ore massive conditions is provide. It has been proven that work in conditions of drilling by not full section area of operating members leads to abnormal load and more quickly consumption lifetime of gearboxes and electric motors of combines.

Keywords: heading-and-winning machine, combine «Ural-20R», load of drives, drives, operating mode, undercut, production of potash ore.

При добыче калийных руд подземным способом на территории России широко применяются проходческо-очистные комбайны типа «Урал». Данные комбайны оснащаются гусеничным ходовым оборудованием и комбинированными планетарно-дисковыми исполнительными органами, а также комплектуются системами контроля нагруженности приводных электродвигателей.

При большой мощности разрабатываемых пластов, отработка камеры проводится в несколько ходов, при первом из которых выработка идет полным сечением исполнительных органов комбайна, а при последующих выполняется подрубка пласта.

Процесс подрубки характеризуется большими динамическими нагрузками на приводы исполнительных органов комбайнов «Урал», что

приводит к увеличению частоты отказов поворотных и раздаточных редукторов до 50,2 % [1].

С целью выявления особенностей процесса формирования нагрузок на приводы комбайнов «Урал-20Р» при работе в режиме подрубки пласта, авторами выполнены экспериментальные исследования в реальных условиях эксплуатации данных выемочных машин.

Сотрудниками кафедры «Горная электромеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета разработан и изготовлен программно-регистрирующий комплекс «ВАТУР», фиксирующий параметры работы приводных двигателей и величины подачи и скорости подачи комбайнов на забой (рис. 1). Прибор производит измерения с частотой 5 кГц, обеспечивает первичную обработку данных, а именно рассчитывает эффективные значения фазного напряжения $U_{\text{эф}}$, В и тока $I_{\text{эф}}$, А; полную S , кВА и активную N_a , кВА мощности приводных электродвигателей по следующим формулам:

$$U_{\text{эф}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n U_k^2}, \quad (1)$$

$$I_{\text{эф}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n I_k^2}, \quad (2)$$

$$S = 3I_{\text{эф}}U_{\text{эф}}; \quad (3)$$

$$N_a = \frac{3}{n} \sum_{k=1}^n U_k I_k, \quad (4)$$

где U_k – мгновенное значение фазного напряжения, измеренное прибором в k -й момент времени, В; I_k – мгновенное значение тока в k -й момент времени, А; n – число точек измерения за фиксированный интервал времени Δt . При проведении экспериментов $\Delta t = 0,02$ с, $n = 100$ [2].

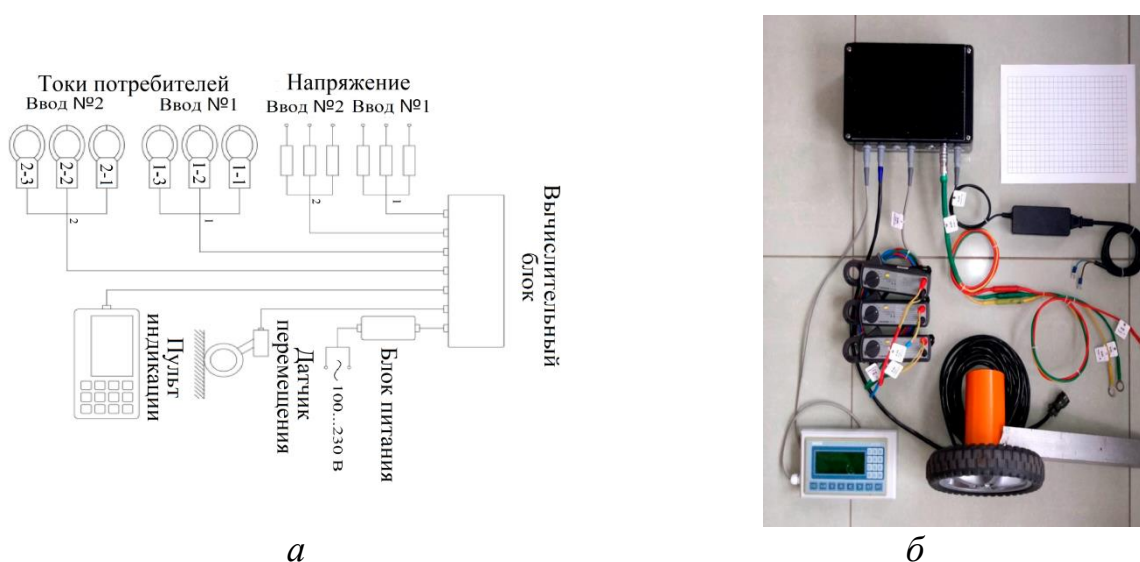


Рис. 1. Программно-регистрирующий комплекс «ВАТУР»: а – структурная схема; б – общий вид

Исследование работы комбайна «Урал-20Р» проводилось при подрубке продуктивного слоя пласта «Красный П» на одном из рудников Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. По данным, предоставленным маркшейдерской службой рудника, высота разрушаемо-

го массива составляла 1,0...1,1 м, площадь забоя 5,5...6,1 м², угол наклона выработки изменялся в диапазоне +1°...+3° (движение комбайна снизу вверх). Комбайн двигался со скоростью подачи на забой 0,4 м/мин.

По данным исследований построены графики активных мощностей электродвигателей обследуемых комбайнов «Урал-20Р» (рис. 2). Значения активных мощностей и коэффициенты вариации приведены в таблице 1.

Наибольшей нагруженностью, но наименьшей вариативностью нагрузок, охарактеризуются двигатели бермовых исполнительных органов, фактическая величина активной мощности которых превысила номинальное значение (Таблица).

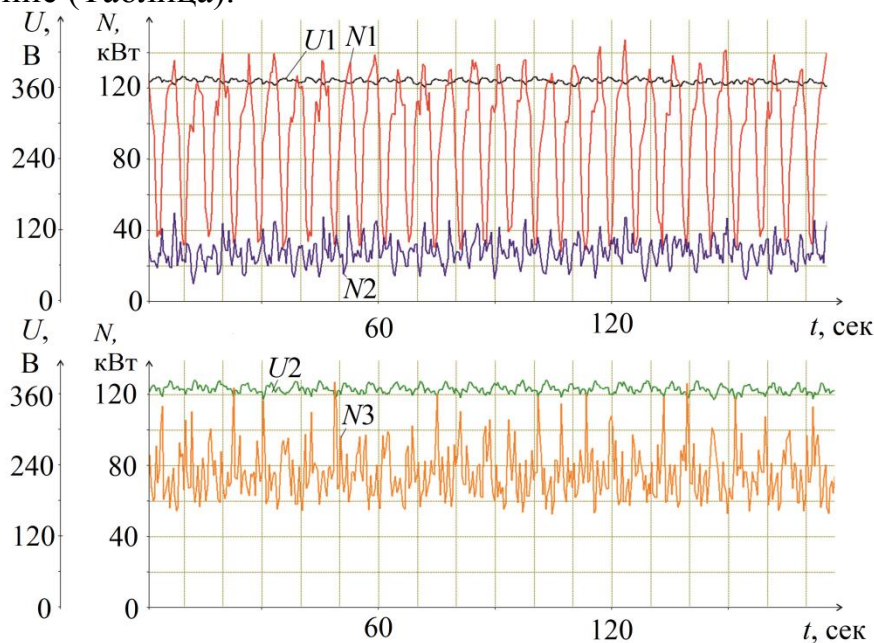


Рис. 2. Изменение энергетических параметров работы приводных двигателей «Урал-20Р» при подрубке:

U_1, U_2 – фазные напряжения на вводах № 1 и № 2, В; N_1 – активная мощность двигателя относительного вращения резцовых дисков, кВт; N_2 – активная мощность двигателя переносного вращения планетарного исполнительного органа, кВт; N_3 – активная мощность двигателя бермовых фрез, кВт

Наибольшая вариативность нагрузок наблюдается на приводах относительного вращения резцовых дисков. При подрубке в контакте с забоем попеременно находится только один из двух поворотных редукторов планетарного исполнительного органа, из-за чего штатная система индикации фиксирует сверхнормативную нагрузку только при двукратной перегрузке редуктора, что обуславливает высокую долю аварийных отказов, происходящих на них.

Результаты исследований, полученные авторами, показывают, что штатная система индикации и контроля нагруженности приводов комбайнов «Урал-20» нуждается в совершенствовании, так как она не позволяет корректно оценивать величину и характер изменения нагрузок приводов при работе комбайнов неполным сечением забоя.

Таблица 1 – Значения активных мощностей двигателей комбайна «Урал-20Р» при выполнении подрубки пласта (скорость подачи $V_{\text{п}}=0,40$ м/мин)

Обследуемые двигатели	Среднее значение активной мощности N_a , кВт	Среднее квадратичное отклонение σ_N , кВт	Коэффициент вариации K_v	Активная мощность при номинальной нагрузке двигателя, кВт
Относительное вращение 1	97,17	38,16	0,39	170,2
Относительное вращение 2	104,70	45,56	0,44	170,2
Переносное вращение	36,20	7,57	0,21	81,5
Бермовый орган	169,73	17,56	0,20	163,0

Одним из решений по снижению аварийности редукторов комбайнов «Урал» вследствие работы в режиме подрубки пласта является ограничение предельной скорости подачи комбайна на забой по условию не превышения толщиной стружки величины максимального вылета резца.

Список литературы

1. *Иванов С.Л.* Повышение ресурса трансмиссий горных машин на основе оценки энергонагруженности их элементов. СПб.: Санкт-Петербургский горный ин-т, 1999. 92 с.
2. *Трифанов М.Г.* Оценка нагруженности приводов проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р» для выбора технически обоснованных режимов работы в реальных условиях эксплуатации: Дис... канд. техн. наук / Уральский государственный горный университет. Екб, 2019. 164 с.

УДК

ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАСЧЕТ СЛОЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ, РОБОТИЗАЦИЯ

И.А. Ядловский, магистрант

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ

Исследование вопросов моделирования и расчета сложных технологических систем и роботизации производства. Освящена теория подобия, функциональная, морфологическая и информационная части моделирования, а также применение роботизации для улучшения производства и технологических процессов. Предложены новые методы математического моделирования для анализа сложных систем и расчета их эффективности.

Ключевые слова: моделирование, расчет, сложные технологические системы, роботизация, производство, дизайн, поведение, система, оптимизация, технология, модернизация, этап, коррекция, отказ.

MODELING AND CALCULATION OF COMPLEX TECHNOLOGICAL SYSTEMS, ROBOTIZATION

I.A. Yadlovskiy

Study of modeling and calculation of complex technological systems and robotization of production. The theory of similarity, the functional, morphological and informational parts of modeling, as well as the use of robotics to improve production and technological processes are consecrated. New methods of mathematical modeling for the analysis of complex systems and calculation of their efficiency are proposed.

Keywords: modeling, calculation, complex technological systems, robotization, production, design, behavior, system, optimization, technology, modernization, stage, correction, failure

Вопросы расчета сложных технологических систем и роботизация являются одними из актуальных тем. Для обеспечения качественной и технологической продукции всё активнее внедряются промышленные роботы, модернизируют уже существующие технологии производства.

При модернизации производства на стадиях проектирования сложных технологических систем проводится их моделирование. Этот этап позволяет наглядно понять поведение системы в определенных условиях, поскольку модель дает описание системы, отображающее совокупность всех ее свойств. Это позволяет проектировщикам изменять и корректировать поведение системы, предохраняя ее от сбоя.

Любая технологическая система состоит из отдельных частей, которые в процессе запуска взаимодействуют между собой. Ее можно описывать с различных точек зрения – функциональной, морфологической, информационной. Функциональная часть показывает изменение самого состояния системы во времени и определяет ее место по отношению к другим системам и к внешней среде. Морфологическая часть показывает саму структуру системы. Информационная часть дает представление об организации системы. В основе моделирования систем лежит теория подобия. Она гласит, что абсолютное подобие имеет место лишь при замене одного объекта (системы) другим аналогичным без изменения системы и ее функ-

ций. Именно поэтому при моделировании проектировщики стремятся к тому, чтобы модель системы как можно полнее отображала процесс функционирования объекта. При этом не стоит забывать, что при синтезе модели необходимо использовать системный подход, учитывающий параметры внешней среды и предусматривающий обратную связь.

Большинство систем подчиняются определенным законам и параметрам, отличающимся от идеальных условий. Поэтому реальное моделирование технологических систем хоть и является самым адекватным способом моделирования, но имеет существенный недостаток – требует больших материальных и временных затрат. Поэтому активно применяется математическое моделирование. Оно остается основным инструментом исследования сложных технологических систем, которое подразделяется на аналитическое, имитационное и комбинированное моделирование. Но даже использование математического моделирования не может учесть все варианты технологической системы, так как в ней всегда будет присутствовать человеческий фактор.

При полной автоматизации производственных процессов, увеличивается производительность в целом, что является благоприятным фактором производства. Промышленные роботы могут выполнять как сложные основные операции, так и вспомогательные. Чаще всего их используют в тех случаях, когда человеческих возможностей не хватает для осуществления технологических операций. С активным внедрением роботизации в производство, остро встал вопрос о программировании и усовершенствовании промышленных роботов. Системы программирования промышленных роботов не стандартизированы, то есть в зависимости от производителя будет зависеть код программирования самого робота. Существует более чем 1500 языков программирования в робототехнике, наиболее популярные - Pascal, Scratch, LISP и Prolog. К сожалению, сейчас почти каждый робот имеет собственный язык программирования, и потому программистам приходится изучать новые языки программирования каждый раз, когда они используют новых роботов. Популярные и известные роботы Fanuc используют язык Karel (название такое он получил в честь Карела Чапека), компания Yaskawa использует для программирования язык INFORM, Kuka - KRL, а ABB имеет свой собственный язык программирования RAPID и так далее. Производители пытаются создать свой уникальный продукт (промышленного робота) для рынка, который оставался бы конкурентноспособным и незаменимым в производстве. С этой целью они создают все новые и новые языки программирования. Несмотря на то, что сейчас активно пытаются стандартизировать коды операций, среда программирования, как и алгоритм команд, остается разным.

Именно поэтому остро встают вопросы, касающиеся моделирования технологических систем и их роботизация. При моделировании систем – универсальный и емкий способ их расчетов, учитывающий огромные параметры и переменные в системе. При роботизации – язык программиро-

вания, который смог бы заменить все существующие языки, сократив тем самым время на изучение языков программирования.

Список литературы

1. Шахинпур М. Курс робототехники: Пер. с англ. – М.; Мир, 1990. 527 с.
2. Попов Е.П., Письменный Г.В. Основы робототехники: Введение в специальность: Учеб. для вузов по спец. «Робототехнические системы и комплексы» – М.: Высш. шк., 1990. – 224 с.
3. Кочтюк В.И., Гавриш А.П., Карлов А.Г. Промышленные роботы: Кооптирование, управление, эксплуатация: Вища. шк. Головне издательство, 1985
4. Фу К., Гансалес Ф., Лик К. Робототехника: Перевод с англ. – М. Мир; 1989. – 624.
5. Бабич А.В., Баранов А.Г., Калабин И.В. и др. Промышленная робототехника: под редакцией Шифрина Я.А. – М.: Машиностроение, 1982 – 415 с.
6. В.И. Захарова и М.П. Васильева «Промышленные роботы» - М. 1992 – 286 с.

ПРОБЛЕМЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ, ПРОИЗВОДСТВА И КОНСТРУИРОВАНИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ

***Что, и где, и как построить,
Да и нужно ль в это лезть,
Сколько это будет стоить –
Мы узнаем только здесь!***

Доц. П.А. Жиганов

УДК 621-05:378.147.88

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФИНИШНОЙ ОПЕРАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ «ХОДОВОЙ ВИНТ ШВП» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА МАО

М.А. Дли, студент, В.В. Максаров, проф., д.т.н.
Санкт-Петербургского горного университета, г. Санкт-Петербург, РФ

Одним из главных показателей качества горнодобывающей техники, является качество её изготовления на машиностроительных предприятиях. Проблема обеспечения качества заключается не только в технологичности конструкции и технологического процесса изготовления, но и в самом качестве производственного оборудования. Так, например, в станочном оборудовании активно используются шарико-винтовые передачи (ШВП), используемые для прямолинейного перемещения рабочих органов станков. В связи с тем, что ходовой винт является важным, но при этом уязвимым узлом, чтобы обеспечить стабильность работы оборудования, минимизировать износ и механические поломки движущихся частей, можно изменить подход к финишной обработке при помощи использования метода магнитно-абразивной обработки.

Ключевые слова: Магнитно-абразивная обработка; финишные операции; шероховатость; ходовой винт; станочное оборудование.

IMPROVEMENT OF THE FINISHING OPERATION OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF MANUFACTURING THE PART "RUNNING HITN SHVP" USING THE MAO METHOD

M.A. Dli , V.V. Maksarov

One of the main indicators of the quality of mining equipment is the quality of its manufacture at machine-building enterprises. The problem of quality assurance lies not only in the manufacturability of the design and technological process of manufacturing, but also in the very quality of the production equipment. For example, in machine tools, ball screw transmissions (SHVP) are actively used, used for straight-line movement of the working bodies of machine tools. Due to the fact that the propeller is an important, but at the same time vulnerable unit, in order to ensure the stability of the equipment, minimize wear and mechanical breakdowns of moving parts, it is possible to change the approach to finishing using the method of magnetic-abrasive treatment.

Keywords: Magnetic-abrasive treatment; finishing operations; roughness; propeller; machine tools

Одним из главных показателей качества горнодобывающей техники, является качество её изготовления на машиностроительных предприятиях. Проблема обеспечения качества заключается не только в технологичности конструкции и технологического процесса изготовления, но и в самом качестве производственного оборудования. Так, например, в станочном оборудовании активно используются шарико-винтовые передачи (ШВП), используемые для прямолинейного перемещения рабочих органов станков. К ходовому винту (см. рис. 1), входящему в состав ШВП предъявляется ряд требований по качеству, таких как шероховатость рабочей поверхности не более $Ra = 0,63$ мкм и твердость рабочих поверхностей $HRC = 59-63$. Обычно ходовой винт изготавливается из сталей марок 8ХФ и 8ХВД.

Актуальность качественной финишной обработки ходового винта ШВП, заключается в достижении необходимых показателей качества по-

верхности, т.к. высокая шероховатость и недостаточная твердость рабочей поверхности могут привести к повышенному износу ходового винта от попадания абразивных частиц в зону подшипника, что в свою очередь может вызывать избыточные вибрации и способствовать подклиниванию ШВП.



Рис. 1. Ходовой винт

Целью работы является изучение существующего метода финишной операции детали ходового винта и рассмотрение альтернативы, которая позволит увеличить ресурс ШВП.

Основная часть включает в себя обзор существующей финишной технологии и рассмотрение альтернативного магнитно-абразивной обработки.

На сегодняшний день финишную обработку ходовых винтов осуществляют однопрофильными или многопрофильными шлифовальными кругами. Недостатками данного метода являются: высокая температура в зоне обработки 400-600°C, прижоги и шаржирование обрабатываемой поверхности, засаливание самих шлифовальных кругов, что приводит к падению производительности процесса обработки.

Одним из наиболее перспективных в настоящее время процессов финишной обработки является магнитно-абразивная обработка. Магнитно-абразивная обработка заключается в следующем: 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).

Следует отметить, что применение магнитно-абразивной обработки на окончательной стадии изготовления изделия позволяет повлиять на все вышеизложенные технологические требования, предъявляемые к поверхности ходового винта. Как правило, у изделий, подвергнутых магнитно-абразивной обработке, удаляется предшествующий дефектный слой, и формируется новый – упрочненный, 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.

На кафедре машиностроения Санкт-Петербургского горного университета разрабатывается способ и устройство для магнитно-абразивной обработки поверхностей тел вращения. По окончании разработки будут проведены исследования по определению качественных характеристик получаемых поверхностей, а также будут выявлены режимные параметры магнитно-абразивной обработки для формирования требуемого качества поверхности.

В результате, у метода МАО есть возможность заменить или дополнить обработку шлифовальными кругами на предприятиях, что должно повысить качество выпускаемой продукции.

Список литературы

1. *Ершов Д.Ю.* Причины возникновения динамических процессов в технологических системах механической обработки / Д.Ю. Ершов, И.Н. Лукьяненко // Journal of advanced research in technical science. № 4. 2017. 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. 3. 2019. С 20–26.
3. *Красный В.А.* Триботехнические характеристики деталей горных машин с регулярной микрогеометрией поверхности / В.А. Красный, В.В. Максаров // Металлообработка. № 1. 2016. С. 29-35.
4. *Максаров В.В.* Технологические особенности магнитно-абразивной обработки в условиях цифровых технологий. / В.В. Максаров, А.И. Кексин, И.А. Филипенко, И.А. Бригаднов // Металлообработка. 2019. № 4 (112). С. 3-10.
5. *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.
6. *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.
7. *Минаков А.П.* Современные технологии финишной обработки гильз гидроцилиндров / А.П. Минаков, Е.В. Ильюшина, П.В. Афанасьев, А.Г. Суворов // Вестник Белорусско-Российского университета. 2015. № 3 (48). С. 45-56.
8. *Сакулевич, Ф.Ю.* Основы магнитно-абразивной обработки / Ф.Ю. Сакулевич, // Мн.: Наука и техника. 1981. С. 328.
9. *Скворчевский Н.Я.* Эффективность магнитно-абразивной обработки / Н.Я. Скворчевский и др. // Физ. - техн. инс-т. Минск.: Наука и техника. 1991. С. 214.
10. *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. Том 3. С. 142-145.

УДК 331.45

ПРИМЕНЕНИЕ СЦЕПОК ДЛЯ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ МОСТОВЫХ КРАНОВ

И. В. Зайцев¹, аспирант, **А. Л. Кузьминов**¹, профессор, д-р техн. наук,
Н.В. Модин², к-т техн. наук, гл. специалист, **Г.Г. Кожушко**³, профессор, д-р техн. наук
¹Череповецкий государственный университет», г. Череповец, РФ
²ООО «Северсталь-Проект», г. Череповец, РФ,
³ УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург РФ

Проведен анализ причин разрушения сцепных устройств, узлов крепления и элементов металлоконструкций концевых балок во время совместной работы мостовых кранов при использовании жестких сцепок. На основе проведенного анализа причин разрушения сцепных устройств предложен альтернативный вариант конструкции, позволяющий повысить безопасность эксплуатации мостовых кранов за счет уменьшения динамических нагрузок во время совместной работы мостовых кранов в сцепных устройствах.

Ключевые слова: мостовой кран, совместная работа мостовых кранов, сцепное устройство (сцепка), безопасность.

THE USE OF COUPLERS FOR THE JOINT OPERATION OF OVERHEAD CRANES

I.V. Zaitsev¹, **A. L. Kuzminov**¹, **N.V. Modin**², **G. G. Kozhushko**³

The article analyzes the causes of the destruction of coupling devices, attachment points and elements of the metal structures of the end beams during the joint operation of overhead cranes when using rigid couplings. On the basis of the analysis of the reasons for the destruction of coupling devices, an alternative design option is proposed that makes it possible to increase the safety of operation of overhead cranes by reducing dynamic loads during the joint operation of overhead cranes in coupling devices.

Keywords: overhead crane, joint operation of overhead cranes, coupling device (coupling), safety.

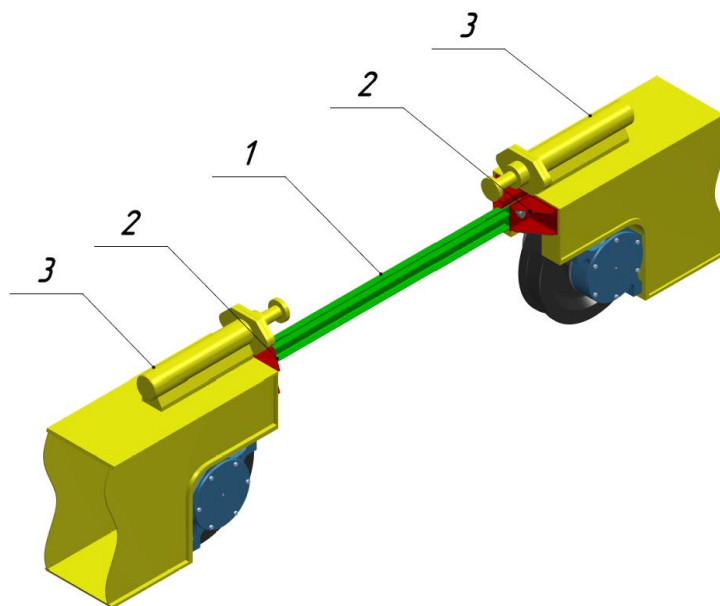
В различных отраслях промышленности для обслуживания основного технологического оборудования или перемещения крупногабаритных грузов, выполняют двумя кранами, соединенными между собой сцепными устройствами.

При этом, как правило, между мостовыми кранами в качестве кинематической связи применяется жесткая сцепка см. рисунок 1.

Анализ инцидентов при совместной работе мостовых кранов показал, что были выявлены случаи разрушения сцепных устройств жесткой конструкции, узлов крепления и металлоконструкций концевых балок при использовании их в течение длительного периода времени.

На рисунке 2 показано характерное разрушение металлической конструкции крана в результате использования жесткого сцепного устройства.

Для исключения таких случаев и обеспечения безопасной одновременной работы двух мостовых кранов было предложено использовать сцепные устройства с упруго деформируемым элементом, позволяющим снижать динамические нагрузки сцепных устройств жесткой конструкции, узлов крепления и металлоконструкций концевых балок.



*Рис. 1 Узел установки жесткого сцепного устройства:
1 – жесткое сцепное устройство; 2 – кронштейны; 3 – концевые балки*



Рис. 2. Разрушение жесткой сцепки, её узлов крепления и элементов металлоконструкции концевых балок

Проведено расчётное обоснование такого устройства. На основе анализа модели с варьированием параметров жёсткости пружинных демпферов разработана оптимизированная конструкция сцепки. В результате компьютерного моделирования установлены необходимые параметры жёсткости пружин демпфера.

Вариант исполнения устройства представлен на рисунке 3, а узел установки сцепки на рисунке 4.

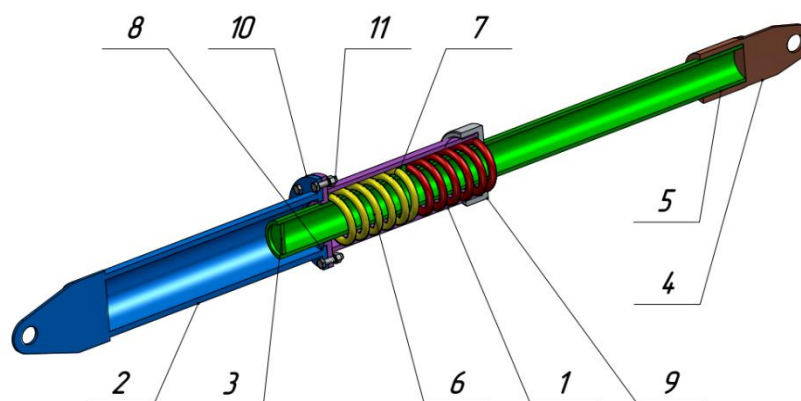


Рис. 3. Сцепное устройство с упругим элементом

1 – корпус, 2 – неподвижная тяга, 3 – подвижный шток, 4 – съёмная проушина, 5 – резьбовое соединение, 6 – деформируемый элемент, 7 – буртик, закрепленный на подвижном штоке, 8 – буртик корпуса, 9 – гайка, 10 – фланцевое соединение, 11 – крепежные элементы

Устройство играет роль компенсатора, поглощая возникающие динамические усилия в конструкции сцепного устройства, металлоконструкциях концевых балок мостовых кранов и в узлах крепления к ним.

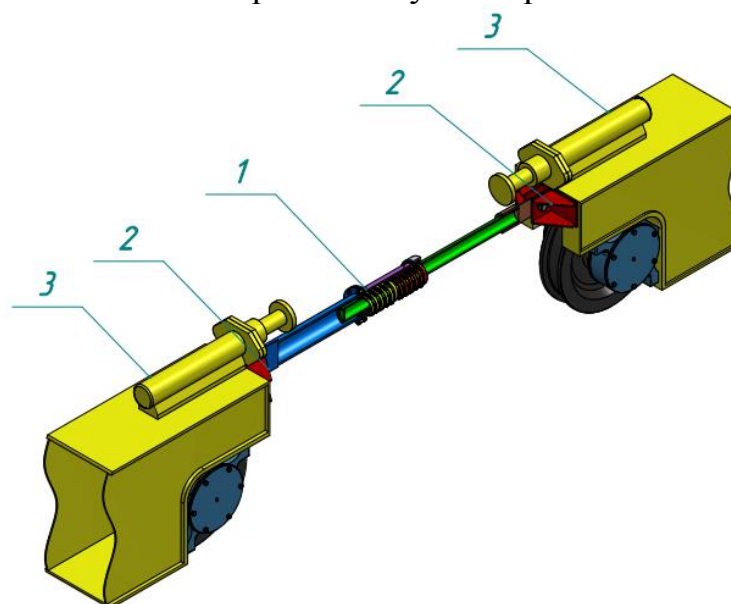


Рис. 4. Узел установки сцепки с упруго деформируемым элементом

1 – сцепное устройство с упруго деформируемым элементом, 2 – кронштейны, 3 – концевые балки

Сцепные устройства можно применять как в отдельных производствах, так и в различных отраслях промышленности для обслуживания основного технологического оборудования. Преимуществом применения сцепного устройства с упруго деформируемым элементом является возможность перемещения крупногабаритных грузов с помощью существующих мостовых кранов, при их совместной работе с помощью сцепных устройств.

УДК. 621.671.22

ВЛИЯНИЕ УМЕНЬШЕНИЯ НАРУЖНОГО ДИАМЕТРА ЦИЛИНДРА РАЗГРУЗОЧНОГО ДИСКА УЗЛА ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ПЯТЫ НА НАДЕЖНОСТЬ СЕКЦИОННОГО НАСОСА

Зырянов И.В.¹, докт. техн. наук, Овчинников Н.П.², канд. техн. наук

¹Политехнический институт (филиал) Северо-Восточного федерального университета,
г. Мирный, Россия

²Северо-Восточный федеральный университет, г. Якутск, Россия

Установлена одна из возможных причин потери работоспособности секционного насоса. Предложено при внешних осмотрах вышедшего из строя узла гидравлической пяты секционного насоса в обязательном порядке измерять наружный диаметр цилиндра разгрузочного диска. Ключевые слова: рудник, секционный насос, гидравлическая пята, отказ.

THE EFFECT OF REDUCING THE OUTER DIAMETER OF THE CYLINDER OF THE DISCHARGE DISC OF THE HYDRAULIC BALANCING UNIT ON THE RELIABILITY OF THE SECTIONAL PUMP

Zyryanov I.V., Ovchinnikov N.P.

One of the possible causes of the loss of operability of the sectional pump has been established. It is proposed that during external inspections of a failed hydraulic heel assembly of a sectional pump, it is mandatory to measure the outer diameter of the cylinder of the discharge disc.

Keywords: underground mine, sectional pump, hydraulic balancing unit, failure.

На руднике «Удачный» в 2019 г. был зафиксирован такой период времени, когда средняя наработка на отказ секционных насосов главной водоотливной установки снизилась с 350...325 ч до 20...6 ч, что в случае возникновения такой внештатной ситуации в период повышенного водопритока могло бы привести к частичному затоплению рудника [1].

По результатам только многочисленных ревизий было установлено, что такому резкому ухудшению работоспособности насосного оборудования способствовало увеличение цилиндрической щели s между поверхностями кольца 1 и цилиндра разгрузочного диска 2 узла гидравлической пяты (рис. 1), номинальная величина которой составляет порядка 0,3 мм. Увеличение щели было вызвано уменьшением наружного диаметра цилиндра разгрузочного диска d .

Как видно из рис. 2, размер щели s имеет высокую степень корреляции с наработкой на отказ узла гидравлической пяты t_r и секционных насосов, что подтверждает результаты ранее проведенных ревизий (рис. 2) [1].

Хочется отметить, что узел гидравлической пяты является одним из наименее надежных элементов в конструкции секционного насоса [2-5].

Установлено, что увеличение цилиндрической щели s возникло из-за резкого повышения в ней давления воды. Такой рост давления был вызван неравномерным перетоком через щель вод, который возник из-за неоднородного прилегания подпятника узла гидравлической пяты к крышке

нагнетания секционного насоса. Некачественное прилегание подпятника явилось результатом сравнительно недавно введенной практики выравнивания изношенных поверхностей крышки нагнетания композитным герметиком «Loctite», который, как оказалось, сильно деформируется при затяжке болтов (рис. 3) [185].

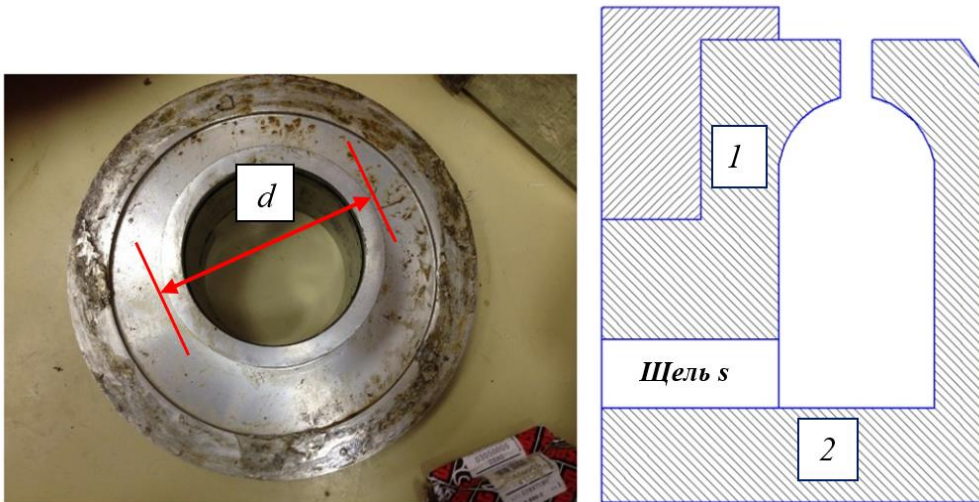


Рис. 1. Детали узла гидравлической пяты по отдельности и в сборе:
1 – подпятник; 2 – разгрузочный диск

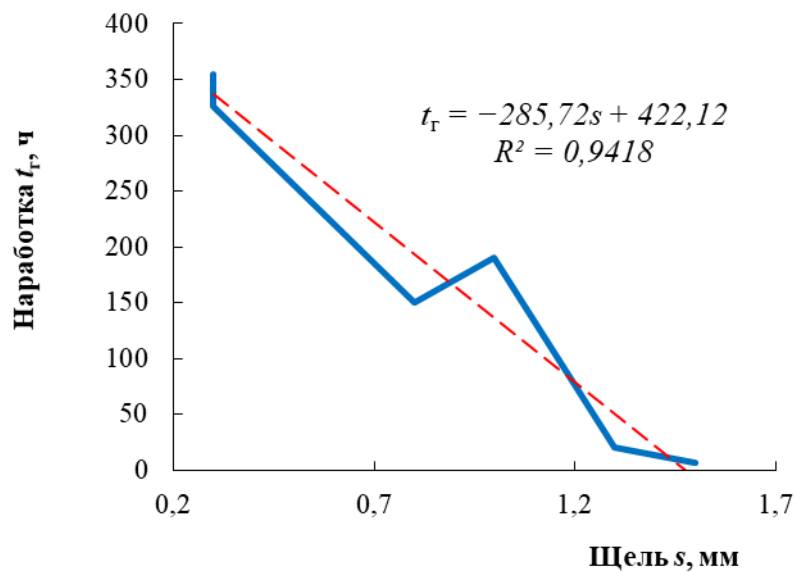


Рис. 2. Зависимость влияния размера цилиндрической щели на наработку узла гидравлической пяты на отказ t_r

Полученные результаты исследований могут быть полезны инженерно-техническому персоналу, отвечающему за функционирование водотливных хозяйств различных подземных рудников и угольных шахт.

Выводы:

1. Установлено, что уменьшение наружного диаметра цилиндра разгрузочного диска может стать причиной снижения долговечности узла гидравлической пяты секционного насоса.

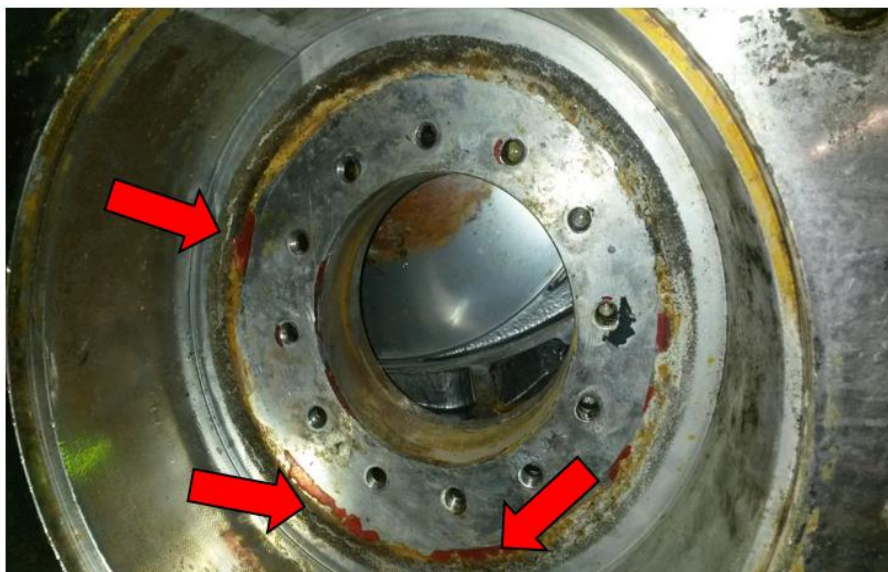


Рис. 3. Следы герметика в местах повреждений крышки нагнетания секционного насоса

2. Предложено при внешних осмотрах вышедшего из строя узла гидравлической пяты секционного насоса в обязательном порядке измерять наружный диаметр цилиндра разгрузочного диска.

Список литературы

1. Овчинников Н.П. Об одной из причин надежной и безопасной работы рудничной водоотливной установки // Безопасность труда в промышленности. 2022. № 2. С. 49-53.
2. Долганов А.В., Еслентьев А.О., Чериков Е.О., Торопов Э.Ю. Анализ эффективности разгрузочных устройств шахтных центробежных секционных насосов // Известия Уральского государственного горного университета. 2014. № 2(34). С. 31-35.
3. Тимохин В.Ю., Паламарчук Н.В. Результаты исследований осевой силы ротора и параметров автоматических уравнивающих устройств центробежных секционных насосов // Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта. 2017. № 45. С. 32-42.
4. Паламарчук Н.В., Тимохина В.Ю., Паламарчук Т.Н. Причины неудовлетворительной работы автоматических уравнивающих устройств центробежных высоконапорных насосов // Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта. 2016. № 42. С. 65-71.
5. Паламарчук Н.В., Тимохин А.В. Особенности функционирования гидравлических разгрузочных устройств шахтных насосов // Уголь Украины. 2008. № 2. С. 15-18.

УДК 678

ВНЕДРЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ

А. Е. Калянов¹, доцент, к.т.н., Ю. Г. Манаков², инженер подготовки производства

¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» г. Екатеринбург,

²АО «Святогор» г. Красноуральск

В статье описан пример внедрения современных аддитивных технологий в условиях ремонтно-механического завода ОА «Святогор» г. Красноуральск. Приведен метод изготовления детали и экономический эффект от внедрения метода изготовления тарельчатого клапана, а также проведено сравнение технических характеристик материалов.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D печать, 3D принтер, FDM технология, эластан, тарельчатый клапан

INTRODUCTION OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN THE MANUFACTURING PROCESS OF SPARE PARTS

A.E. Kalianov, Yu. G. Manakov

The article describes an example of the introduction of modern additive technologies in the conditions of the mechanical repair plant OA "Svyatogor" Krasnoufimsk. The method of manufacturing the part and the economic effect of the introduction of the method of manufacturing the poppet valve are given, as well as a comparison of the technical characteristics of the materials.

Keywords: additive technologies, 3D printing, 3D printer, FDM technology, elastane, poppet valve

В 2021 году объем мирового рынка 3D-печати достиг почти \$12 млрд. По прогнозам GlobalData, к 2025 году глобальный рынок аддитивных технологий составит \$32 млрд, а к 2030 году — \$60 млрд. Россия находится на одиннадцатом месте в мире по производству и внедрению технологий 3D-печати. Доля отечественного рынка в этой сфере составляет всего 2%, но при этом российский рынок аддитивных технологий за последние восемь лет вырос в десять раз.

Преимущества 3D-печати для малосерийного и штучного производства в условиях ремонтно-механического завода, где сложные детали производятся в небольших объемах:

- возможность создавать сложные геометрические формы без необходимости инвестировать в дорогостоящее инструментальное оборудование, исключение из технологической схемы производства – механической обработки. Это дает изготовителям запасных частей, расходных материалов и другой продукции, экономически эффективный способ производства небольших партий деталей;

- эффективность материалов. Поскольку процесс 3D-печати основан на изготовлении деталей слой за слоем, материал используется только там, где он необходим. В результате получается меньше отходов, чем при традиционных методах;

- консолидация деталей, одним из ключевых преимуществ 3D-печати является консолидация деталей: возможность объединить несколько деталей в один компонент;
- изготовление деталей с геометрией любой сложности, что оставляет далеко позади возможности традиционных методов;
- оптимизация таких параметров изделий, как точность и прочность, а также снижение массы за счет создания супертонких стенок, внутренних каналов и бионических структур;
- снижение рисков и ошибок проектирования, в том числе за счет возможности изменения конструкции на поздних этапах проектирования;
- управление физико-механическими свойствами продукта благодаря использованию высокотехнологичных материалов.

Суть внедрения аддитивных технологий на участке защитных покрытий ремонтно-механического завода – это замена традиционного способа изготовления тарельчатого клапана из резины марки К-6252 для пресс-фильтра ФКМ на печать клапана в 3D принтере по FDM технологии с применением эластана 160 (рис. 1, 2).

Изготовление тарельчатого клапана пресс-фильтра ФКМ традиционным способом процесс достаточно сложный трудоёмкий и рассчитан на серийное производство, при изготовлении таким способом уникальных или мелкосерийных деталей их себестоимость будет достаточно высока, так как потребуются разработка чертежей, изготовление пресс-форм, последующая механическая обработка (сверление) паза под установку крепёжных изделий.

Механические свойства резин и эластопластов могут быть охарактеризованы несколькими основными свойствами.

Таблица 1 – Технические характеристики резиновой смеси К-6252 и пластика Эластан D160

Резиновая смесь К-6252 (гр. VII-16-15)	
Среда и температурный интервал, °С	40 - 70
Условная прочность, МПа	15,6
Плотность, кг/см ³	1,64
Твердость, единиц по Шору А	75
Относительное удлинение при разрыве, %	400
Пластик Эластан D160	
Среда и температурный интервал	40 - 120
Условная прочность, МПа	55
Твердость, единиц по Шору, А	80
Плотность, кг/см ³	1,24
Относительное удлинение при разрыве, %	680

Основываясь на характеристиках материалов, можно сделать вывод: эластан D160 по техническим характеристикам способен заменить изделия из резины в технических устройствах, работающих в указанных диапазонах температур и твёрдости.

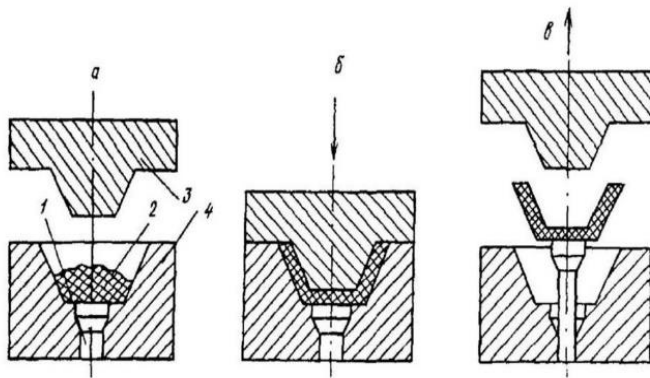


Рис. 1 – Схема изготовления изделий методом компрессионного прессования:

а – загрузка пресс-материала; б – смыкание пресс-формы; в – раскрытие пресс-формы и извлечение изделия; 1 – выталкиватель; 2 – пресс-материал; 3 – пуансон; 4 – матрица

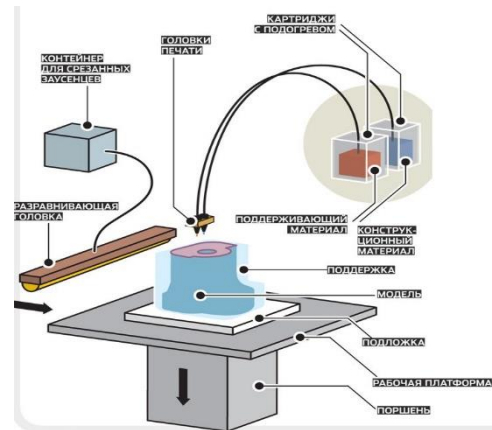


Рис. 2 - Печать клапана в 3D принтере

Экономический эффект от замены технологии изготовления традиционным способом клапана тарельчатого для пресс-фильтра ФКМ на печать клапана в 3D принтере по FDM технологии имеет положительный эффект для предприятия. Для этого приобретается комплект оборудования в составе – 3D-принтер, 3D-сканер, программное обеспечение для работы с 3D-моделями. При внедрении аддитивных технологий в процесс производства клапана пресс-фильтра ФДМ, снижение себестоимости составит 300382,33руб. Окупаемость оборудования достигается за 1 год.

Таблица 2 - Изготовление поковки для пресс формы

Наименование статей расхода	Ед. изм.	Количество	Цена, руб.	Сумма 1шт., руб.	Сумма за год, руб.
Кузница					
Материалы: сталь круг $\varnothing 300\text{мм}$ Ст3	руб./кг	22,18	84	1863,12	22 357,44
Электроэнергия	Квтч	120	7	840	10080,0
Заработная плата кузнеца	руб.	2	253,1	506,2	6074,4
Заработная плата слесаря механо-сборочных работ (разметка)	руб.	1	223,2	223,2	2678,4
Отчисления на соцстрахование 32,5%	руб.			237,05	2844,72
Цеховые расходы	руб.				22 757,28
Цеховая себестоимость	руб.				66 792,24

Таблица 3 - Изготовление пресс-формы для клапана

Наименование статей расхода	Ед. изм.	Количество	Цена, руб.	Сумма 1шт., руб.	Сумма за год, руб.
Механосборочный участок					
Электроэнергия	Квтч	60	7	420,0	5040,0
Заработная плата токаря	руб.	8	253,1	2024,8	24297,6
Заработная плата слесаря механо-сборочных работ (разметка)	руб.	1	223,2	223,2	2678,4
Заработная плата инженера-технолога (чертёж)	руб.	4	363,64	1454,54	1454,54
Отчисления на соцстрахование 32,5%	руб.			1203,33	9239,93

Наименование статей расхода	Ед. изм.	Количество	Цена, руб.	Сумма 1шт., руб.	Сумма за год, руб.
Цеховые расходы	руб.				73 919,4
Цеховая себестоимость	руб.				116 629,87

Таблица 4 - Изготовление клапана из резины К-6252 (1200шт. в год)

Наименование статей расхода	Ед. изм.	Количество	Цена, руб.	Сумма 1шт., руб.	Сумма за год, руб.
Участок защитных покрытий					
Материалы: Смесь резиновая К-6252	руб./кг	0,33	618,24	204,02	244 824,0
Электроэнергия	Квтч	5,87	7	41,09	49 308,0
Заработная плата прессовщика	руб.	0,51	297,6	151,78	182 136,0
Отчисления на соцстрахование 32,5%	руб.				59 194,2
Цеховые расходы	руб.				473 553,6
Цеховая себестоимость	руб.				1 009 015,8
Механосборочный участок					
Материалы: эластан-160	руб./кг	0,26	1350	325	421200,0
Брак 10% от производственной программы	руб./кг	0,26	1350	325	39000,0
Электроэнергия	Квтч	4,8	7	33,6	40320,0
Заработная плата инженера-оператора (сканирование оригинала, обработка модели на компьютере, замена картриджей с эластаном, контроль параметров печати)	руб.	оклад	22000		264000,0
Отчисления на соцстрахование 32,5%	руб.				85800,0
Цеховые расходы	руб.				73919,4
Цеховая себестоимость	руб.				924239,4
Общехозяйственные расходы 12%	руб.				110 908,73
Итого цеховая себестоимость	руб.				1 035 148,13

Список литературы

1. User Manual Version 6.0 SR1 Creaform Inc.
2. Гончаров П. С., Артамонов И. А., Халитов Т. Ф., Денисихин С. В., Сотник Д. Е. Г 65 NX Advanced Simulation. Инженерный анализ. М.: ДМК Пресс, 2012. 504 с.
3. ISO 22093:2011 Industrial automation systems and integration - Physical device control - Dimensional Measuring Interface Standard (DMIS) // ISO 2011.
4. Буш Р. Основы обеспечения долговечности конструкций средствами NX // CAD/CAM/CAE Observer. 2008. № 1 (37). С. 30-33.
5. Смеси резиновые невулканизированные товарные. ТУ 38.105.1082-86 (2512-215-00149245-96).

УДК 62-252.7, 62-932.2

ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ПОДШИПНИКОВЫХ ОПОР БАРАБАННОЙ МЕЛЬНИЦЫ ПЛАВУЧЕГО КОМПЛЕКСА ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

А.С. Корогодин, асп., Н.А. Алтынников, студ., С.Л. Иванов, проф., док. техн. наук
Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

Представлена геотехнология месторождения «Павловское» посредством применения плавучего комплекса горного оборудования. В цепи горного оборудования комплекса выделено горное оборудование дезинтеграции, в частности барабанные мельницы, в них качестве ресурсоопределяющие элементы. Проведена оценка работоспособности опорных подшипниковых узлов скольжения барабанных мельниц. На специально оборудованном стенде экспериментально получены и после обработки экспериментальных данных проанализированы зависимости интенсивности роста температурного поля подшипниковых узлов от размерного отклонения геометрии профиля пустотелых цапф от номинальных значений согласно конструкторской документации. Установлено, что мониторинг и контроль рабочего состояния подшипниковых узлов скольжения по величине температурного поля, вышедшего на установившийся режим под максимально допустимой нагрузкой является определяющим критерием оценки технического состояния последних, в том числе позволяет прогнозировать остаточный ресурс работы машины в целом.

Ключевые слова: месторождения Арктической зоны, плавучий комплекс горного оборудования, мониторинг в реальном времени, подшипниковый узел скольжения, изнашивание цапф, барабанные мельницы, температура нагрева, испытательный стенд.

PREDICTION OF REMAINING LIFE OF BEARING SUPPORTS OF DRUM MILL OF FLOATING COMPLEX OF MINING EQUIPMENT

A.S. Korogodin, N.A. Altynnikov, S.L. Ivanov

The geotechnology of Pavlovskoye deposit through the use of a floating complex of mining equipment is presented. In the chain of mining equipment of the complex the mining equipment of disintegration, in particular, drum mills, in them as resource-determining elements, is singled out. The evaluation of serviceability of drum mills' sliding bearing units was carried out. On the specially equipped stand the dependences of the temperature field growth rate of the bearing units on the dimensional deviation of the profile geometry of hollow pins from the nominal values according to the design documentation have been experimentally received and after the processing of the experimental data analyzed. It is established that monitoring and control of the working condition of sliding bearing units by the value of the temperature field, which has reached the steady state under the maximum allowable load, is a defining criterion for assessing the technical condition of the latter, including the ability to predict the remaining operating life of the machine as a whole.

Keywords: Arctic deposit, floating complex of mining equipment, real-time monitoring, sliding bearing unit, trunnion wear, drum mills, heating temperature, test bench.

Привлекательность минеральных ресурсов в Арктике за последние десятилетия возросла, и регион рассматривается как обширное хранилище потенциальных ресурсов. Месторождения Российской зоны Арктики включают в себя такие полезные ископаемые как золото, минералы платиновой группы, олово, свинец, цинк, серебро, циркон, титан, алмазы, а также ряд редких металлов. Привлекательность месторождений Арктики отражает не только обширная геология, но и наличие и охват геоданных, наличие профессиональной рабочей силы, уровень инфраструктур и т.д. В результате развитие горнодобывающей и других ресурсоопределяющих отраслей промышленности,

Арктика входит в число ключевых драйверов экономического развития [1], обеспечивая региональную безопасность России в условиях борьбы за контроль над минеральными ресурсами Арктики. Однако хрупкая окружающая среда и наличие природных охраняемых ареалов растений и животных создают проблемы для развития горнодобывающей промышленности в данном климатическом регионе. В связи с чем, горнодобывающую промышленность необходимо оптимизировать таким образом, чтобы ее рентабельность поддерживалась в реально изменяющихся условиях ее существования без нанесения критического ущерба окружающей среде [2]. Перспективным направлением в этой области стало реализация проекта по разработке месторождения «Павловское», расположенное на архипелаге Новая Земля вблизи губы Безымянная [3].

Проект разработки - это создание специального плавучего комплекса горного оборудования. Новация состоит в переходе к мобильному способу разработки месторождения вместо применения классических технологий и сопровождающих их реализацию – технологических комплексов горного оборудования. Новый подход разработки, на примере месторождения «Павловское», предлагает концепт щадящей геотехнологии, предусматривающей применение углубочной продольной однобортовой (двубортовой) системы разработки. К однобортовой относятся – Центральный и Южный карьеры, а к двубортовой – Восточный карьер, с перемещением вскрышных пород автотранспортом в отвалы, с внешним отвалообразованием и возможным внутренним отвалообразованием в выработанное пространство Центрального и Южного карьеров [3]. Разработка ведется горизонтальными уступами, продольными заходками при выполнении вскрышных и добычных работ. Добытую руду крупностью до 750 мм первоначально разделяют на двухдечном колосниковым грохоте, выделяя три фракции: -10 мм, -130 мм и +130 мм. Последняя фракция поступает на щековую дробилку, расположенную на борту карьера, фракция +130 мм идет на дробление в конусную дробилку и затем, проходя через роторную дробилку, поступает в барабанную мельницу, сюда же поступает и фракция 0-10 мм. Две последние стадии дробления и стадия измельчения осуществляются на борту плавучего комплекса горного оборудования для получения концентрата. В этом случае плавучий комплекс горного оборудования располагается в специально возведенном портовом узле в непосредственной близости карьера.

Таким образом, оборудование для дезинтеграции и измельчения стационарно располагаются в отсеках многопалубного плавучего комплекса, обеспечивая функционирование единой технологической цепи горного оборудования. Так как на месте эксплуатации оборудования дезинтеграции не предусмотрено мобильных ремонтных баз, вкуче с ограниченностью палубного пространств и отсутствия возможности транспортирования оборудования между технологическими отсеками вкуче с влиянием эргатической системы [4], к оборудованию предъявляются повышенные требования по уровню готовности, для чего предусмотрен ряд диагностических процедур в рамках

мероприятий технического обслуживания. «Узким местом» всей цепочки горного оборудования является обеспечение работоспособности ее ресурсопределяющих узлов и механизмов, к которым в первую очередь относятся опорные подшипниковые узлы, в частности оборудования дезинтеграции, а именно – барабанных мельниц. Подшипники являются важным компонентом оборудования, работая при высоких нагрузках с длительным временем цикла в условиях запыленной атмосферы, что влечет за собой интенсификацию деградиационных процессов, в особенности при не должном внимании к отказам оборудования. Чтобы осуществлять контроль процесса изнашивания опорных подшипниковых узлов скольжения барабанной мельницы без остановки оборудования и его демонтажа принят метод контроля температуры подшипника, так как при прочих равных условиях величина геометрических отклонений рабочего профиля пустотелых цапф от номинальных значений достаточно точно описывается изменением поля температур подшипника скольжения.

Для установления зависимости и проведения эксперимента был отобран ряд пустотелых цапф с размерами: 300 мм в диаметре, 228 мм в длину. Материал цапф 18ХН4МА, материал подшипников скольжения баббит Б88, масляная подушка в узле скольжения из минерального масла Тп-46. Испытываемые пустотелые цапфы условно поделены на 4 группы, геометрические параметры которых представлены в таблице 1, где: $C_{1.ном}$ – цапфа, геометрический профиль которой находится в пределах, заданных конструкторской документацией; $C_{2.мин}$ – цапфа, геометрический профиль которой равномерно превышает заданные параметры в 3-5 раза; $C_{3.пов}$ – цапфа, отклонение геометрического профиля которой является неравномерным и превышает норму 5-8 раз; $C_{4.авр}$ – цапфа, геометрический профиль которой скачкообразно превышает заданный примерно в 7-15 раз.

Таблица 1. Геометрические параметры испытываемых цапф

Геометрический параметр цапфы, мм	Отклонение от профиля цапфы для каждой группы, мм							
	Номинальная, $C_{1.ном}$		Минимальная, $C_{2.мин}$		Повышенная, $C_{3.пов}$		Аварийная, $C_{4.авр}$	
	Мин	Макс	Мин	Макс	Мин	Макс	Мин	Макс
$\varnothing 300_{-0,375}^{-0,343}$	299,653	299,655	299,746	299,752	299,713	299,735	299,706	299,775
$\bigcirc 0,005$	0,004	0,005	0,016	0,017	0,022	0,024	0,036	0,077
$\square 0,005$	0,003	0,003	0,022	0,028	0,036	0,040	0,043	0,069
$\sphericalangle 0,015$	0,011		0,027		0,083		0,191	

Испытания подшипниковых узлов скольжения проводилось для каждого ряда отобранных цапф в механически замкнутом контуре с последовательно увеличиваемой мощностью в системе до $2 \cdot 10^4$ кВт от привода стендового электродвигателя и гидравлического торсионного нагружателя в течение времени «х» по выражению (1):

$$P = (2000x^6 - 3000x^5 + 1000x^4 - 200x^3 + 20x^2 - 0,26x + 23 \cdot 10^{-4})10^6 \quad (1)$$

В ходе чего получен ряд зависимостей для каждого ряда цапф. Для цапф Ц_{1.ном} максимальная температура составила 46°C, что является номинальной согласно техническим условиям для испытываемого узла и описывается формулой (2):

$$t_{Ц1н} = 1 \cdot 10^{-12}x^6 - 2 \cdot 10^{-9}x^5 + 7 \cdot 10^{-7}x^4 - 1 \cdot 10^{-4}x^3 + 0,0143x^2 - 0,38x + 23 \quad (2)$$

Для цапф Ц_{2.мин} максимально достигнутая эксплуатационная температура составила 61°C, что также является не критичным показателем и температурный нагрев описывается формулой (3):

$$t_{Ц2м} = 3 \cdot 10^{-12}x^6 - 3 \cdot 10^{-9}x^5 + 1 \cdot 10^{-6}x^4 - 2 \cdot 10^{-4}x^3 + 0,023x^2 - 0,5x + 23 \quad (3)$$

Для цапф Ц_{3.пов} температура достигла отметки в 85°C с срабатыванием аварийно-предупредительной сигнализации, что является критичным. Интенсивность изменения температуры описывается выражением (4):

$$t_{Ц3п} = 4 \cdot 10^{-12}x^6 - 4 \cdot 10^{-9}x^5 + 2 \cdot 10^{-6}x^4 - 4 \cdot 10^{-4}x^3 + 0,034x^2 - 0,624x + 23 \quad (4)$$

Для цапф ряда Ц_{4.авр} было установлена достижение температуры в подшипниковом узле более 123°C с последующим разрушением подшипника и отказа системы в течение 3-6 часов, выражение (5):

$$t_{Ц4а} = 5 \cdot 10^{-12}x^6 - 6 \cdot 10^{-9}x^5 + 2 \cdot 10^{-6}x^4 - 5 \cdot 10^{-4}x^3 + 0,041x^2 - 0,495x + 23 \quad (5)$$

Список литературы

1. Novoselov, A., Potravny, I., Novoselova, I., Gassiy, V. (2017). Selection of priority investment projects for the development of the Russian Arctic. *Polar Science*, 14, 68–77.
2. Юнгмейстер Д.А., Сержан С.Л., Смоленский М.П. Расчет производительности добычного комплекса ЖМК с применением камер разрежения // *Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство*. – 2022. – №15. – С. 171-176. <https://doi.org/10.26160/2658-3305-2022-15-171-176>
3. Белов С.В., Скрипниченко В.А., Ушакова В.А. Горно-геологическая и экономическая характеристика месторождений свинцово-цинковых руд в российской Арктике // *Арктика и Север*. 2022. № 48. С. 5–28. DOI: 10.37482/issn2221-2698.2022.48.5
4. Бессонов А.Е., Шибанов Д.А., Михайлов А.В. Влияние эргатической системы на время рабочего цикла карьерного электрического экскаватора // *Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство*. – 2022. – №15. – С. 136-141. <https://doi.org/10.26160/2658-3305-2022-15-136-141>

УДК 621.9.01

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОРЕЛЬЕФА РЕЖУЩИХ КЕРАМИЧЕСКИХ ПЛАСТИН

М.А. Попов, А.С. Кузьмина, А.Д. Халимоненко

Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

Рассмотрен альтернативный способ подготовки режущего инструмента, обеспечивающий достижение высокого качества микрорельефа и шероховатости поверхности без визуальных дефектов. Исследовано влияние входных параметров магнитно-абразивной обработки при обработке керамических пластин на основе оксида алюминия. Определены параметры процесса обработки, оказывающие наибольшее влияние на формирование структуры поверхности керамических пластин.

Ключевые слова: магнитно-абразивная обработка, режущая керамика, керамические пластины, качество поверхности, микроструктура поверхности, шероховатость, электромагнитная индукция, режущие кромки.

THE EFFECT OF MAGNETIC ABRASIVE FINISHING ON THE FORMATION OF THE CERAMIC CUTTING PLATES' MICRORELIEF

M.A. Popov, A.S. Kuzmina, A.D. Khalimonenko

An alternative method of preparing a cutting tool is considered, which ensures the achievement of high quality microrelief and surface roughness without visual defects. The influence of the input parameters of magnetic abrasive processing in the processing of ceramic plates based on aluminum oxide is investigated. The parameters of the processing process that have the greatest influence on the formation of the surface structure of ceramic plates are determined.

Keywords: magnetic abrasive finishing process, cutting ceramics, ceramic plates, surface quality, surface microstructure, roughness, electromagnetic induction, cutting edges.

Введение

Одним из методов подготовки инструмента является магнитно-абразивная обработка (МАО), обеспечивающая высокое качество поверхности инструмента с минимальными дефектами микрорельефа [3]. На данный момент влияние метода МАО на формирование микрорельефа керамических пластин мало изучено. Применение данного метода относится к перспективным направлениям машиностроения, которое способно многократно увеличить качественные и эксплуатационные характеристики инструмента на основе режущей керамики.

В настоящей работе было проведено исследование формирования микрорельефа керамического инструмента марки ВОК-60 посредством магнитно-абразивной обработки, на основе которого определено влияние варьируемых параметров МАО на качество поверхности керамических пластин, определяющее общее качество обработки.

Материалы и методы исследований

Для реализации метода магнитно-абразивной обработки инструмента на основе режущей керамики использовалось специальное электромагнитное приспособление, разработанное на базе кафедры машиностроения

Санкт-Петербургского горного университета. Специальное приспособление устанавливается на рабочем столе фрезерного станка с ЧПУ *Emco Concept Mill 250* на резиновую прокладку и крепится специальными приспособлениями для обеспечения жесткости системы. Устройство обеспечивало реализацию схемы магнитно-абразивной обработки, имеющую условное обозначение I-AB-1 [4, 6].

Керамические режущие пластины закрепляются во вспомогательном устройстве, которое устанавливается в шпинделе станка. Вспомогательному устройству сообщается вращательное, поступательное и осциллирующее движения, траектории которых описываются при помощи подготовленной управляющей программы для станка с ЧПУ.

Керамические пластины вместе со вспомогательным устройством вводятся в рабочее пространство электромагнитного приспособления между полюсными наконечниками. Рабочее пространство заполняется магнитно-абразивным порошком. Жесткость магнитно-абразивного инструмента (МАИ) регулируется величиной электромагнитной индукции. В табл.1 представлены варьируемые параметры процесса магнитно-абразивной обработки и их диапазон, определенный с учетом возможностей приспособления по данным, представленным в источниках [5, 7].

Таблица 1

Варьируемые параметры MAO с их диапазоном

Варьируемые параметры	Диапазон параметров
Величина электромагнитной индукции, Тл	от 0,35 до 0,95
Время обработки, мин	от 4 до 12
Частота вращения, мин ⁻¹	от 100 до 600
Величина подачи, мм/мин.	от 25 до 225

В процессе магнитно-абразивной обработки керамических режущих пластин исследовались шероховатость поверхности *Ra* и ее топография. Исследования проводились с использованием электронного микроскопа MarVision MM320 и профилметра Mitutoyo SurfTest SJ-210.

В табл. 2 приведены постоянные параметры MAO.

Таблица 2

Статические параметры MAO

Керамическая пластина марки ВОК-60	размеры 12×12×4 мм по ГОСТ 25003-81
Тип ферромагнитного абразивного порошка (ФАП)	TiC-Fe
Химический состав ФАП	Ti - 48,9%, $C_{связ}$ - 11,6%, $C_{своб}$ - 0,8%, Fe - 38,9%
Характеристика микроструктуры	Хлопьевидный карбид
Зернистость порошка Δ , мкм	160...315
Объем ФАП, г	125
Зазор между заготовкой и полюсными наконечниками, мм	3
Смазочно-охлаждающая жидкость	ECOCOOL GLOBAL 10 UK

Результаты и обсуждение

При магнитно-абразивной обработке керамических режущих пластин наблюдалось снижение шероховатости *Ra*. Правильный выбор значе-

ний варьируемых параметров процесса MAO позволил достигнуть значений шероховатости поверхности (рис. 1) в диапазоне от 0,4 до 0,3 мкм.

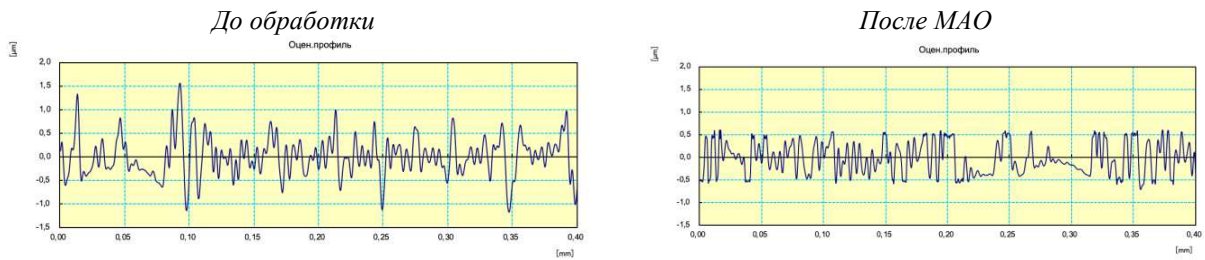


Рисунок 1 – Профилограммы поверхности режущих керамических пластин до и после MAO

Влияние варьируемых параметров MAO на шероховатость поверхности Ra обработанных пластин представлены на графиках (рис. 2). В результате исследований было выявлено, что все варьируемые параметры MAO оказывали влияние на качество поверхности.

Анализ графиков зависимости показал, что среди всех варьируемых параметров в выбранном диапазоне значений наибольшее влияние на формирование микрорельефа и шероховатости поверхности керамических пластин оказывают электромагнитная индукция и время обработки (минимальная шероховатость поверхности достигается при значении индукции 0,6...0,7 Тл). Подача и частота вращения также оказывают определенное воздействие на течение процесса MAO, но их фактор влияния оказался не существенным.

Проведенный после завершения процесса MAO оптический контроль обработанной поверхности позволил прийти к выводу, что магнитно-абразивная обработка является эффективным методом подготовки керамического режущего инструмента. Данный метод может рассматриваться как альтернатива используемым на данный момент методам финишной обработки.

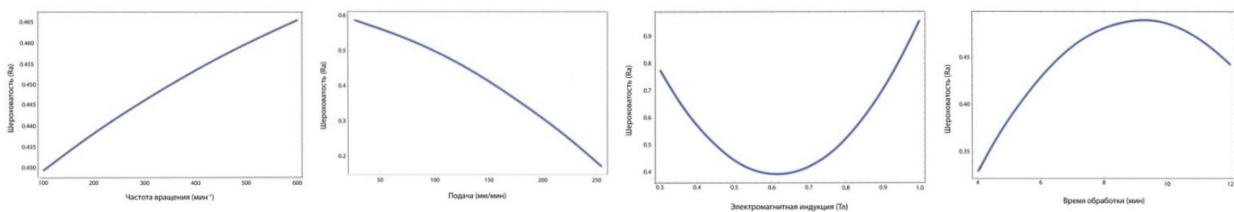


Рисунок 2 – Графики зависимости влияния варьируемых параметров MAO на формирование шероховатости поверхности Ra керамических пластин марки ВОК-60

В процессе MAO реализуется процесс сглаживания неровностей, а за счет микрорезания формируется поверхность, отличающаяся низким значением шероховатости Ra . При помощи нежесткого МАИ формируется качественный рельеф рабочей поверхности инструмента без дефектов (задиры, трещины, прижоги, сколы), влияющих на его работоспособность.

Заключение

Из полученных результатов экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Все четыре выбранных параметра МАО (время обработки, электромагнитная индукция, величина подачи и частота вращения) оказывают влияние на формирование микрорельефа поверхности керамических режущих пластин;

2. Наиболее важным фактором, влияющим на формирование шероховатости поверхности Ra , является величина электромагнитной индукции (минимальная шероховатость поверхности достигается при значении индукции 0,6...0,7 Тл);

3. Оптимальным значением времени проведения МАО можно считать диапазон, начинающийся после 8 мин. Проводимый предел исследования был до 12 мин.;

4. МАО позволяет достичь параметра шероховатости $Ra = 0,4...0,3$ мкм и сформировать микрорельеф поверхности без визуальных дефектов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nguyen K.L., Gabov V.V., Zadkov D.A. 2019. Improving efficiency of cleanup and coal flow formation on conveyor by shearer loader with accessorial blade. *Eurasian Mining* 2019(1), 37-39. DOI: 10.17580/em.2019.01.09

2. Иванов С.Л., Иванова П.В., Кувшинкин С.Ю. 2020 Оценка наработки карьерных экскаваторов перспективного модельного ряда в реальных условиях эксплуатации. *Записки Горного института*, 242(2), 228-233. DOI: 10.31897/PMI.2020.2.228

3. Maksarov V.V., Keksin A.I., Filipenko I.A. 2020. Improvement of Magnetic-Abrasive Finishing of Nonuniform Products Made of High-Speed Steel in Digital Conditions. *Key Engineering Materials*, 836, 71-77.

4. Барон Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов. – Л.: Машиностроение, 1986. – 176 с.

5. Попов М.А., Максаров В.В., Бригадов И.А. 2021. Влияние радиуса округления режущей кромки на повышение качества поверхностного слоя детали. *Известия Тульского государственного университета*. №9(872), 637-644. DOI: 10.24412/2071-6168-2021-9-637-644

6. Хомич Н.С. Магнитно-абразивная обработка изделий: монография. – Минск: БНТУ, 2006. – 218 с.

7. Maiboroda V.S. 2020. Internal friction characteristics of mixtures of magnetic abrasive powders in magnetic fields. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*. 39(3-4), 163-167. DOI: 10.1007/BF02678639

УДК 621.923.9

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ОКОНЧАТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВКЛАДЫШЕЙ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

В.Г. Куфаев, магистрант

Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, РФ

Подшипники скольжения выполняют функцию опоры и поддержки валов в механизмах и машинах, а также обеспечивают вращение. Наиболее изнашиваемой частью подшипников являются вкладыши, непосредственно контактирующие с валом и воспринимающие основные нагрузки. Преимущественный износ этих деталей происходит в центральной части. Доказано, что на многие эксплуатационные свойства оказывают прямое влияние показатели качества, обеспечиваемые на этапе финишной обработки. Однако, традиционно применяемые методы окончательной обработки вкладышей подшипников имеют недостатки. Таким образом, целью данной работы является предложение метода магнитно-абразивной обработки и разработка способа, заключающегося в использовании особого устройства – индуктора на постоянных магнитах, определённого ферроабразивного порошка (быстрорежущего измельчённого сплава Р6М5), диапазона изменения магнитной индукции (от 0, 4 Тл до 0,8 Тл) и назначения определённого технологического зазора (3 мм).

Ключевые слова: магнитно-абразивная обработка, вкладыш подшипника скольжения, преимущественный износ, магнитный индуктор, осцилляционное движение.

TREATMENTS FOR THE FINAL PREPARATION OF THE INTERNAL SURFACES OF PLAIN BEARING SHELLS

V.G. Kufaev

Plain bearings have the function of supporting and supporting shafts in mechanisms and machines, and also increase rotation. The most worn part is the bearing shells, especially those in contact with the shaft and taking the main loads. Preferential wear of parts occurs in the central part. It has been proven that many performance properties are directly affected by the quality indicators provided to achieve the final processing. However, traditional methods of processing bearing shells have a place to be. Thus, this goal is the method of magnetic-abrasive processing and development, which consists in the collection of special devices - an inductor with elevated magnets, a dosed ferroabrasive powder (high-speed crushed alloy R6M5), a change in the concentration of the magnetic mixture (from 0.4 T to 0.8 T) and technological gap discharge (3 mm).

Keywords: magnetic-abrasive machining, sleeve bearing, increased wear, magnetic inductor, oscillatory motion.

Подшипники скольжения являются важной частью машин и предназначены для опоры и поддержки валов в корпусе с целью обеспечения их бесперебойного вращения. Сами подшипники скольжения состоят, как правило, из двух частей – корпуса и вкладыша. Вкладыши, изготовленные из антифрикционных материалов, непосредственно прилегают к цапфе вала и воспринимают все нагрузки, а корпус выполняется отдельно в целях экономии. Именно вкладыши подшипников в данном узле разрушаются наиболее часто, что является причиной остановки машин на обслуживание и ремонт раньше срока.

К вкладышам подшипников скольжения предъявляются следующие требования по эксплуатационным характеристикам: износо- и задиростойкость, антифрикционность, требования по усталостной прочности [1]. Как известно, большинство эксплуатационных характеристик зависят от показателей качества, обеспечиваемых на этапе финишной обработки заготовки. Например, шероховатость поверхности во многом определяет её последующий износ, а определённый рисунок неровностей делает возможным обеспечение высокой маслостойкости поверхности [2, 3].

Применительно к вкладышам подшипников выделяют несколько методов финишной обработки, которые возможно применять: шабрение, полирование, шлифование, хонингование. Однако, каждый из этих методов имеет ряд недостатков. Так, шабрение, которое чаще всего применяют для окончательной обработки данного изделия, является малопродуктивной ручной обработкой, выполняемой высококвалифицированным слесарем-станочником [4]. Кроме того, этот метод часто предусматривает прерывание обработки на контроль и осмотр вкладыша, то есть требует дополнительных временных затрат, что в условиях серийного и массового производства не является эффективным. Что касается полирования, то, хотя этот метод и обеспечивает существенное улучшение шероховатости, он не способен удалить погрешности предыдущей обработки и улучшить точность форм и взаимного расположения. Также при назначении большого припуска на обработку сам процесс требует значительных затрат рабочего времени. Касательно абразивных методов обработки (шлифования и полирования) стоит упомянуть их общий недостаток – засаливание инструмента, происходящее вследствие отделения бронзовой стружки и попадания её в поры абразивного инструмента. Таким образом, необходимо осуществлять правку шлифовальных кругов и брусков, используя специальное оборудование и инструменты.

Стоит сказать, что, согласно исследованиям доктора технических наук профессора М. Н. Нагоркина, вкладыши подшипников в процессе эксплуатации изнашиваются неравномерно – преимущественный износ наблюдается в верхней центральной части данной детали, поскольку именно эта область вкладыша контактирует с вращающимся валом на протяжении всего времени работы [6]. Таким образом, может быть поставлена задача по обеспечению закономерно изменяющихся параметров качества вкладыша и преимущественного упрочнения наиболее подверженной износу части.

Таким образом, на основе всего вышесказанного, целью данной работы является предложение альтернативного метода обработки бронзовых вкладышей подшипников скольжения, который не только учитывал бы недостатки существующих традиционных способов, но и делал бы возможным повышение качества поверхностей и их эксплуатационные свойства. В качестве такого метода в данной работе предлагается использовать метод магнитно-абразивной обработки (МАО). Он заключается в использо-

вании энергии магнитного поля и специального абразивного материала – ферроабразивного порошка – для обработки заготовок. В качестве оборудования применяют электромагнитные катушки с подсоединёнными к ним полюсами, которые и формируют магнитное поле. В область действия поля вводят заготовку и засыпают абразивный материал, после чего сообщают заготовке вращательное и возвратно-поступательное движение, чем обеспечивают её относительное движение в зоне обработки [7, 8].

Как известно, бронза – это маломангнитный материал, в связи с чем создать вокруг неё сильное магнитное поле проблематично. Существует ряд способов решения данной проблемы, но самое действенное из них – применение индуктора на постоянных магнитах. Это устройство представляет собой подобие хона, однако по его периметру закреплены постоянные магниты, разделённые магнитопроводами. Индуктор погружается в ёмкость с абразивным материалом, который формирует на поверхности магнитов «щётку». Затем инструмент закрепляется в шпинделе станка и, вращаясь, производит обработку требуемой поверхности.

Достичь формирования закономерно изменяющихся показателей качества на поверхности вкладыша планируется варьированием определённых режимных параметров работы установки для МАО, в частности, это величина магнитной индукции (диапазон изменений 0,4-0,8 Тл). Технологический зазор δ составит 3 мм, для обработки будет использован порошок Р6М5 фракцией 55-250 мкм. Предложена следующая последовательность действий: обрабатываемый вкладыш делится на три зоны – две боковые и центральную. Обработка индуктором начинается от левой боковой зоны: индуктор вращается и перемещается по длине окружности. Как только он подходит к началу наиболее подверженной износу зоны, происходит смена режимных параметров, и обработка этой области происходит уже с новыми значениями. Затем, как только эта зона пройдена, происходит обратное переключение, и правая зона обрабатывается, как и левая.

Для формирования на поверхности вкладыша определённого рисунка для удержания масла в условиях магнитно-абразивной обработки предлагается сообщать заготовке осцилляционное движение вверх-вниз, вследствие чего на её поверхности должны быть сформированы пересекающиеся штрихи.

Таким образом, суть данной работы заключается в предложении метода магнитно-абразивного полирования для обработки вкладышей подшипников скольжения. В качестве режимных параметров предложен диапазон магнитной индукции от 0,4 до 0,8 Тл и технологический зазор 3 мм. Для осуществления обработки предлагается использовать измельчённый быстрорежущий абразив Р6М5 фракцией 60-160 мкм. Ожидается, что в результате обработки вкладыша подшипника будут обеспечены требуемые эксплуатационные характеристики, в частности, повышена износостойкость поверхности, её усталостная прочность и стойкость к образованию задиров, а также антифрикционность. Всё это в комплексе позволит увели-

чить ресурс данной детали и сделать период безотказной работы машины более длительным.

Список литературы

1. Солнцев, Ю. П. Специальные материалы в машиностроении : учебник / Ю. П. Солнцев, Е. И. Пряхин, В. Ю. Пиирайнен. — 2-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 664 с.
2. Гимадеев, М. Р. Оценка влияния параметров шероховатости на эксплуатационные характеристики гладких цилиндрических отверстий и оптимизация алгоритмов механической обработки / М. Р. Гимадеев // Ученые заметки ТОГУ. — 2015. — Т. 6. — № 4. — С. 429-435. — EDN VCYRTV.
3. Зюзин, А. А. Влияние шероховатости и микрорельефа поверхностей трения в подшипнике скольжения на изнашивание / А. А. Зюзин, Б. Н. Казьмин, М. Д. Юров // Вестник машиностроения. — 2012. — № 7. — С. 45-49. — EDN PDGFEB.
4. Эксплуатация, обслуживание и ремонт компрессоров холодильного оборудования : учебное пособие для вузов / В. И. Трухачев, И. В. Капустин, И. В. Атанов, Д. И. Грицай. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 160 с.
5. Зубарев, Ю. М. Основы резания материалов и режущий инструмент : учебник / Ю. М. Зубарев, Р. Н. Битюков. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 228 с.
6. Нагоркин М. Н. Надёжность технологического обеспечения шероховатости и износостойкости поверхностей деталей инструментами из синтетических сверхтвёрдых материалов: дис. ...док. техн. наук: 05.02.08 / Нагоркин Максим Николаевич; науч. рук. А. В. Тотай; ФГБОУ ВО «БГТУ» – Брянск, 2019. — 374 с.
7. Maksarov, V. V., Vasin, S. A., & Keksin, A. I. (2021). Improving internal threaded surfaces in highly loaded components. *Russian Engineering Research*, 41(10), 944-947. doi:10.3103/S1068798X21100191.
8. Технологические особенности магнитно-абразивной обработки в условиях цифровых технологий / В. В. Максаров, А. И. Кексин, И. А. Филипенко, И. А. Бригаднов // *Металлообработка*. — 2019. — № 4(112). — С. 3-10. — DOI 10.25960/mo.2019.4.3. — EDN GGNUCD.

УДК 621.271

НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

С.А. Матвиенко, доц., к.т.н., А.В. Лукичев, доц., к.т.н.,
Д.В. Егоров, магистрант, А.Н. Тригубов, магистрант
Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, ДНР

В статье определены направления повышения конструкционных и технологических показателей карьерных экскаваторов. В статье предложена новая технология ремонта с применением комбинированного метода (вибрационной обработки и холодного газодинамического напыления) восстановления деталей.

Ключевые слова: карьерный экскаватор, комбинированная технология, холодное газодинамическое напыление, газодинамическое покрытие, вибрационная обработка.

DIRECTIONS FOR IMPROVING THE EFFICIENCY OF OPERATION AND MAINTENANCE OF QUARRY EXCAVATORS

S.A. Matvienko, A.V. Lukichev, D.V. Egorov, A.N. Trigubov

Abstract. In article defines the directions of promotions the structural and technological indicators of quarry excavators. In article the new technology of repair with the use of the combined method (vibration treatment and cold gas-dynamic spraying) restoration of details is offered.

Key words: карьерный экскаватор, комбинированная технология, cold gas-dynamic spraying, gas-dynamic coating, vibration treatment.

Введение. В современной горнодобывающей промышленности актуальной задачей является повышение технических параметров (качество, надежность, экономичность, энергоемкость, производительность и т.д.) карьерных экскаваторов [1]. В связи с этим актуальной является задача повышения показателей долговечности деталей и агрегатов карьерных экскаваторов за счет разработки и внедрения инновационных функционально-ориентированных технологий восстановления.

Основная часть. На надежность карьерных экскаваторов оказывают влияние следующие эксплуатационные факторы (технологический, организационный, технический, человеческий), климатические и горно-геологические условия, несвоевременность замен расходных и изнашивающихся элементов подсистем машин.

На сегодняшний момент отмечается недостаточный уровень организации и планирования горных работ и применение специального оборудования, с учетом системы их технической эксплуатации, ухудшение горно-геологических условий [2]. Металлоемкость и производительность карьерной техники существенно зависят от параметров рабочего оборудования [3]. В связи с проблемой развития конструктивных параметров оборудования карьерного экскаватора необходимо использование новых конструктивных и технологических решений [4, 5]. Одним из резервов повышения надежности работы экскаваторов является проведение профилактических

и предупредительных ремонтных работ во время вынужденных простоев, в периоды ожидания.

Направления повышения конструкционных и технологических показателей карьерных экскаваторов представлены на рис. 1.

Актуальной задачей является повышение надежности карьерной техники за счет разработки и внедрения инновационных технологий восстановления рабочих поверхностей ответственных деталей машин.

Одним из перспективных методов при восстановлении деталей машин является «холодное» газодинамическое напыление (ХГДН) [7,8]. Формирование металлических покрытий ХГДН заключается в нанесении и закреплении на поверхности изделия или детали (на поверхности мишени-подложки) твердых частиц металла или смеси материалов, в процессе высокоскоростного удара. В момент контакта с плоскостью частицы подвергаются пластической деформации, и создается химическая взаимосвязь в пятне контакта. При нанесении оказывается незначительное тепловое воздействие, покрытия имеют малые остаточные напряжения, низкую пористость. ХГДН перспективно для формирования функционально-ориентированных, многослойных и многокомпонентных поверхностных слоев рабочих поверхностей деталей. Одним из направлений расширения возможностей ХГДН является разработка функционально-ориентированной комбинированной ресурсосберегающей и экологически безопасной технологии вибрационной обработки [9,10] и ХГДН.

Сущность предлагаемой технологии заключается в том, что на первом этапе дефектная поверхность подвергается очистке методом виброобработки. На втором этапе непосредственно формируется функционально-ориентированное покрытие при контакте с поврежденной поверхностью, за счет напыления порошкового материала при дополнительном придании заготовке ультразвуковых колебаний. На третьем этапе формируются следующие слои газодинамического покрытия, разработанные на базе функционально-ориентированного подхода. При контакте с поверхностью изделия происходит трансформация пластического типа, а энергия кинематического вида переходит в адгезионную и тепловую, что способствует получению прочного поверхностного слоя металла. Данная технология формирования поверхностного слоя рабочих поверхностей может применяться как при изготовлении деталей, так и при ремонтных работах, когда необходимо восстановить функционально-ориентированные зоны изделий.

Выводы. Перспективным методом при изготовлении и восстановлении деталей карьерных экскаваторов является предлагаемая авторами комбинированная функционально-ориентированная технология вибрационной обработки и газодинамического нанесения износостойких, коррозионно-стойких, антифрикционных и упрочняющих покрытий на рабочие поверхности ответственных деталей машин.



Рисунок 1. Направления повышения эксплуатационной эффективности карьерных экскаваторов

Список литературы

1. Иванова П. В. Анализ структуры и надежности современного парка карьерных экскаваторов / П. В. Иванова, С. А. Асонов, С. Л. Иванов, С. Ю. Кувшинкин. // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2017. - № 7. - С. 51-57.

2. Аникин К.В. Перспективы применения в России экскаваторов с объемом ковша 20 м³ и более. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. - № 12. - С. 365-369.
3. Комиссаров А. П. Имитационная модель функционирования рабочего оборудования гидравлического экскаватора / А. П. Комиссаров, В. С. Шестаков // Горное оборудование и электромеханика. - 2013. - № 8. - С. 20-24.
4. Кувшинкин С. Ю. Влияние конструктивных параметров рабочего оборудования карьерного экскаватора на динамику нагрузки // Записки Горного института. – 2014. - Т.209. - С. 66-70.
5. Хорешок А. А. Определение показателей эффективности новых конструкций ковшей экскаваторов / А. А. Хорешок, Е. Ю. Пудов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. - № 12. - С. 101-107.
6. Москвичев В. В. Оценка показателей эксплуатационной надежности карьерных гидравлических экскаваторов / В. В. Москвичев, М. А. Ковалев. // Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии. - 2020. - № 13(6). - С. 745-756.
7. Куприянов В. Г. Способ восстановления поврежденных корпусных деталей военной техники // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2017. - № 9. - С. 433-446.
8. Архипов В. Е. Механические свойства модифицированного покрытия на основе меди и цинка, нанесенного газодинамическим напылением / В. Е. Архипов, А. Ф. Лондарский, Г. В. Москвитин, М. С. Пугачев. // Научные труды 4-ой Международной научно-технической конференции, посвященной 80-летию ИМАШ РАН, «Живучесть и конструкционное материаловедение» (ЖивКоМ–2018). – М.: Ижевск: Институт компьютерных исследований. – 2018. – С. 35-37.
9. Бабичев А. П. Вибрационные технологии в машиностроении: опыт применения и перспективы развития / А. П. Бабичев, П. Д. Мотренко. // Упрочняющие технологии. – 2015. - № 8. – С. 3-5.
10. Матвиенко С.А. Технологическое обеспечение износостойкости деталей за счет формирования параметров качества поверхности вибрационной отделочно-упрочняющей обработкой / С.А. Матвиенко, А.В. Лукичев, О.П. Сакно // Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы: материалы 15-ой Межд. научн.-практ. конф. , 2014, Таганрог – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2014. – С. 172-178.

УДК 621.45.012

ПОСТРОЕНИЕ УПРОЩЕННОГО ПРОФИЛЯ ПЕРА ЛОПАТКИ ТУРБИНЫ ГТД

А.Н. Михайлов^{1,2}, проф., А.В. Анастасьев¹, Н.С. Пичко², проф.

¹Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, ДНР

²Филиал Ухтинского государственного технического университета в г. Усинске,
Усинск, Российская Федерация

Рассмотрена геометрия пера лопатки турбины ГТД и описана методика упрощения профиля для определения параметров процессов обработки в каждой точке профиля. Получены упрощенные профили в трех сечениях, приведены их геометрические характеристики и проведено сравнение с реальными профилями в соответствующих сечениях.

Ключевые слова: лопатка турбины, ГТД, профиль, модель, сечение.

CONSTRUCTION OF A SIMPLIFIED PROFILE OF THE GTE TURBINE BLADE

Mikhailov A.N., prof., Anastasyev A.V.¹, Pichko N.S.², prof.

The geometry of the GTE turbine blade airfoil is considered and the profile simplification technique for determining the processing parameters at each point of the profile is described. Simplified profiles in three sections are obtained, their geometric characteristics are given, and a comparison is made with real profiles in the corresponding sections.

Keywords: turbine blade, GTE, shape, model, section.

Надежность работы рабочих лопаток турбины зависит не только от их конструктивной прочности, сопротивления циклическим и длительным

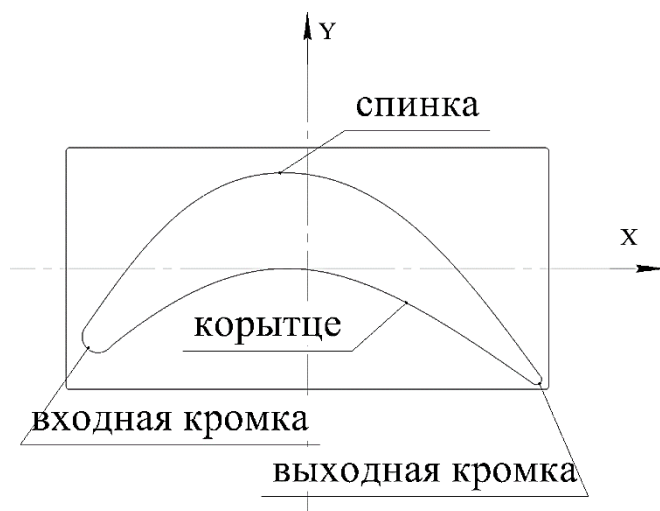


Рисунок 1 – Основные элементы пера лопатки

внешних нагрузок.

статическим нагрузкам, но и от технологии их изготовления, которая непосредственно влияет на качество поверхностного слоя хвостовика и пера лопаток [1]. Это связано с тем, что в поверхностном слое образуются конструктивные и технологические концентраторы напряжений, они испытывают влияние наклепа и внутренних остаточных напряжений при механической обработке, а также под воздействие

Профиль лопатки турбины имеет сложную пространственную геометрию, обусловленную особенностями работы лопаточного аппарата, а именно: переменными нагрузками, высокими температурами рабочего газа, наличием высокоскоростного газового потока, содержащего мельчайшие твердые частицы [2]. На рисунке 1 представлены основные функцио-

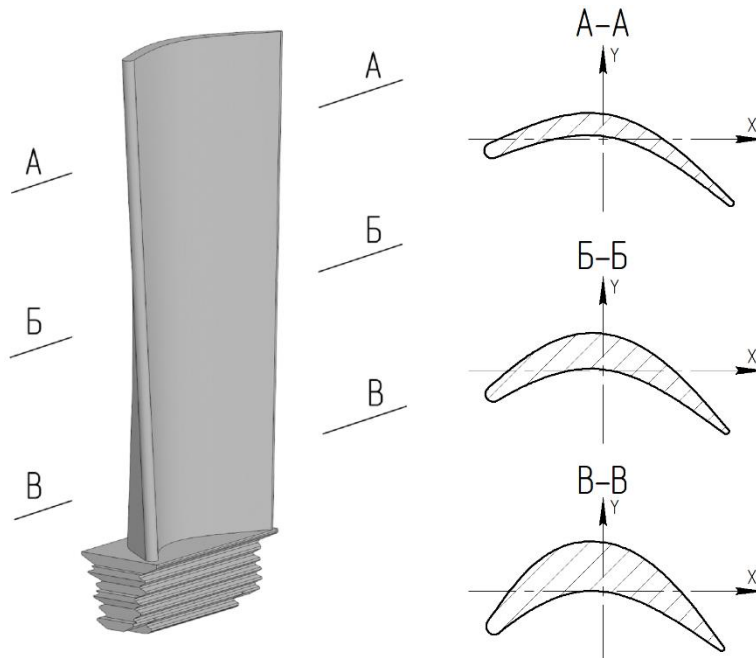


Рисунок 2 – Изменение геометрии пера лопатки по высоте пера

нальные элементы пера лопатки турбины, а именно: входная и выходная кромки, корыто пера лопатки, спинка пера лопатки (тело пера лопатки на рисунке не обозначено). При этом, геометрия пера лопатки по высоте пера изменяется (рис. 2). Такая сложная пространственная форма затрудняет возможность точного определения режимов и условий протекания процессов резания при полировании. Согласно классификации фасонных

поверхностей профессора А.П. Бабичева [3], лопатки турбины относятся к III классу фасонных поверхностей, а именно – пространственных фасонных поверхностей. Это во многом определяет особенности технологических операций отделочной обработки.

При отделочной обработке очень важно обеспечить постоянство снимаемого слоя материала, расхода полировальных материалов и износа полировальника на каждом участке поверхностей. Для реализации функционально-ориентированных технологий [4, 5, 6], возможно обеспечение не постоянства снимаемого слоя материала, расхода полировальных материалов и тд., а контролируемость и воспроизводимость заданных параметров [7]. Для этого необходимо провести анализ условий протекания процессов обработки в каждой точке профиля. Сложная пространственная геометрия, обеспечивающая возможность функционирования ЛТ ГТД в условиях высоких температур, давления, воздействия механических и химических составляющих газового потока, очень затрудняет процесс определения пятна контакта при полировании таких поверхностей.

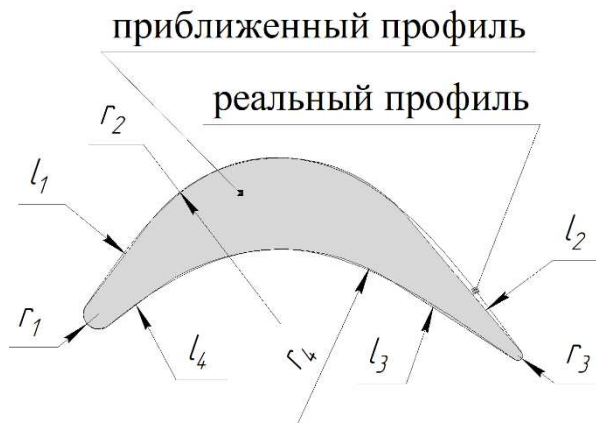


Рисунок 3 – Приближенный профиль пера лопатки для сечения В-В

Представив сложную поверхность пера в виде композиции элементарных поверхностей, можно существенно упростить процесс анализа и определения условий протекания процессов обработки. Так, приняв допущение, что профиль пера лопатки (рис. 2) можно представить в виде цилиндрических и линейных участков, которые будут приближенно описывать форму реального профиля с минимальными отклонениями,

получим профиль, представленный на рисунке 3. При построении профиля, радиус принимаем наиболее близким к упрощаемой поверхности, путем подбора по наибольшему количеству точек касания полученного радиуса и существующей криволинейной поверхности. Линейные участки строим как касательные к определенным ранее радиусам. Таким образом, упрощенный профиль в любом из сечений будет включать в себя 4 радиуса, соединенных между собой касательными линиями.

Размеры всех указанных элементов, из которых состоит упрощенный профиль пера лопатки для всех сечений, представлены в таблице 1, а характеристики площади сечений – в таблице 2.

Таблица 1 – Характеристики элементов упрощенных сечений лопатки

№ п/п	Сечение	Характеристики элементов, мм							
		r_1	r_2	r_3	r_4	l_1	l_2	l_3	l_4
1	А-А	1,37	20,83	0,55	23,37	10,21	15,73	14,11	9,6
2	Б-Б	1,38	17,85	0,52	21,98	9,42	15,73	13,74	7,06
3	В-В	1,45	15,87	0,48	19,66	9,69	16,84	13,88	6,35

Таблица 2 – Значения площади реальных и упрощенных сечений

№ п/п	Сечение	Площадь сечения, мм ²		Отклонение от фактического сечения, %
		фактического	упрощенного	
1	А-А	143,25	142,14	0,8
2	Б-Б	210,2	207,8	1,1
3	В-В	282,62	280,26	0,8

При этом, если сравнить площадь полученных упрощенных сечений с площадью реальных сечений, приведенные в таблице 2, можно сделать вывод, что разработанная упрощенная модель является адекватной.

Таким образом, можно рассматривать предложенный упрощенный профиль как эквивалентный реальному, при анализе процессов обработки профиля пера лопатки ГТД.

В статье изложена методика упрощения профиля пера лопатки ГТД для определения характеристики и режимов процессов обработки в каждой точке профиля, основанная на замене сложного пространственного профиля на упрощенный, состоящий из цилиндрических и линейных участков.

Список литературы

1. Абраимов, Н.В. Авиационное материаловедение и технология обработки металлов: Учеб. Пособие для авиационных вузов / Н.В. Абраимов, Ю.С. Елисеев, В.В. Крымов. – Москва: Высшая школа, 1998. – 444 с., ил.
2. Налимов, Ю.С. Анализ повреждений лопаток газотурбинных двигателей / Ю.С. Налимов // Металл и литье Украины. — 2014. — № 12. — С. 17-22
3. Физико-технологические основы методов обработки: учеб. пособие / под ред. А. П. Бабичева. – Ростов-на-Дону : Изд. центр ДГТУ, 2003. – 429 с. – ISBN 5-7890-0284-6.
4. Михайлов, А. Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения / А. Н. Михайлов ; А. Н. Михайлов. – Донецк : Технополис, 2009. – 346 с. – ISBN 9667907244.
5. Особенности обеспечения свойств лопаток компрессора и турбины газотурбинной установки на базе функционально-ориентированных покрытий и равенства их ресурсов / А. П. Пичко, Д. А. Михайлов, Т. В. Хавлин [и др.] // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2019. – № 1(64). – С. 68-76.
6. Михайлов, А. Н. Особенности технологического процесса повышения ресурса лопаток турбины авиационного двигателя на базе функционально-ориентированной технологии / А. Н. Михайлов, Т. В. Хавлин // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2017. – № 1(56). – С. 84-100.
7. Научно-технические технологии в машиностроении / А.Г. Суслов, Б.М. Базров, В.Ф. Безъязычный и др.; под ред. А.Г. Суслова. – Москва: Машиностроение, – 2012. – 528 с. ISBN 978-5-94275-619-2

УДК 621.01

К ВОПРОСУ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ БЕЗОТХОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ НАКАТКИ ПРОФИЛЕЙ ТРУБ

А.Н. Михайлов, С.Б. Котляров, В.Б. Котляров, Б.С. Котляров
Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, ДНР

В работе описаны результаты исследований, направленных на расчет элементов инструментов для технологического обеспечения формообразования медных оребренных труб маслоохладителей для тепловозов с учетом влияния технологических факторов. Приведена система учета влияния формообразующих элементов инструмента и режимов технологического взаимодействия на параметры геометрии элементов оребренной трубы и коррелятивного влияния на параметры инструментов для профилирования ребер труб. Разработаны алгоритмы расчетов профиля формообразующих роликов.

Ключевые слова: медная труба, формообразование, участок, зона, формирование профиля, пластичность, перемещение части материала, безотходная обработка.

TO THE QUESTION OF PRACTICAL IMPLEMENTATION OF THE TECHNOLOGY OF WASTE-FREE ROLLING OF PIPE PROFILES

A.N. Mikhaylov, S.B. Kotliarov, V.B. Kotliarov, B.S. Kotlyarov

The paper describes the results of studies aimed at calculating the elements of tools for technological support of shaping copper finned tubes of oil coolers for diesel locomotives, taking into account the influence of technological factors. A system is given for taking into account the influence of the shaping elements of the tool and the modes of technological interaction on the parameters of the geometry of the elements of the finned tube and the correlative influence on the parameters of the tools for profiling the ribs of the tubes. Algorithms for calculating the profile of shaping rollers have been developed.

Keywords: copper pipe, shaping, section, zone, profile formation, plasticity, movement of a part of the material, non-waste processing.

Введение

Формообразование профилей ребер труб маслоохладителей безотходным методом накатки [1, 2, 3] предполагает деформирование и перемещение в другие зоны некоторой массы исходного материала и формирования отдельных геометрических элементов деталей, подлежащих обработке. Практическая реализация способа накатки труб выполнена на токарно-винторезном станке 1Б63 с применением специальных приспособлений, реализующих взаимодействие деталей и инструментов.

Цель и задачи.

Целью исследований является разработка порядка расчетов размеров заготовок оребренных медных труб, позволяющего обеспечить безотходное изготовление детали в конечных размерах при минимизации количества технологических операций.

Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

1. Выделить функционально значимые связи конструктивных признаков детали и элементов инструментального профиля.

2. Установить укрупненную взаимосвязь между значимыми функциональными признаками труб и технологическими признаками ФОР-воздействий в процессе формообразования в системах координат.

3. Разработать порядок выполнения операций и переходов безотходной технологии изготовления оребренных труб из меди.

4. Предложить порядок расчета размеров заготовок труб для накатки профилей, формирующих геометрию труб.

Основное содержание.

В процессе обработки оребренной трубы формирование профиля происходит в результате силового взаимодействия профиля накатного ролика и тела заготовки. При этом сила давления от вращающегося ролика действует на материал заготовки по разным векторам, направление которых определяется размерами профиля, углом сечения ролика, скоростью вращения [4, 5].

Эскиз схемы обработки приведен на рис. 1.

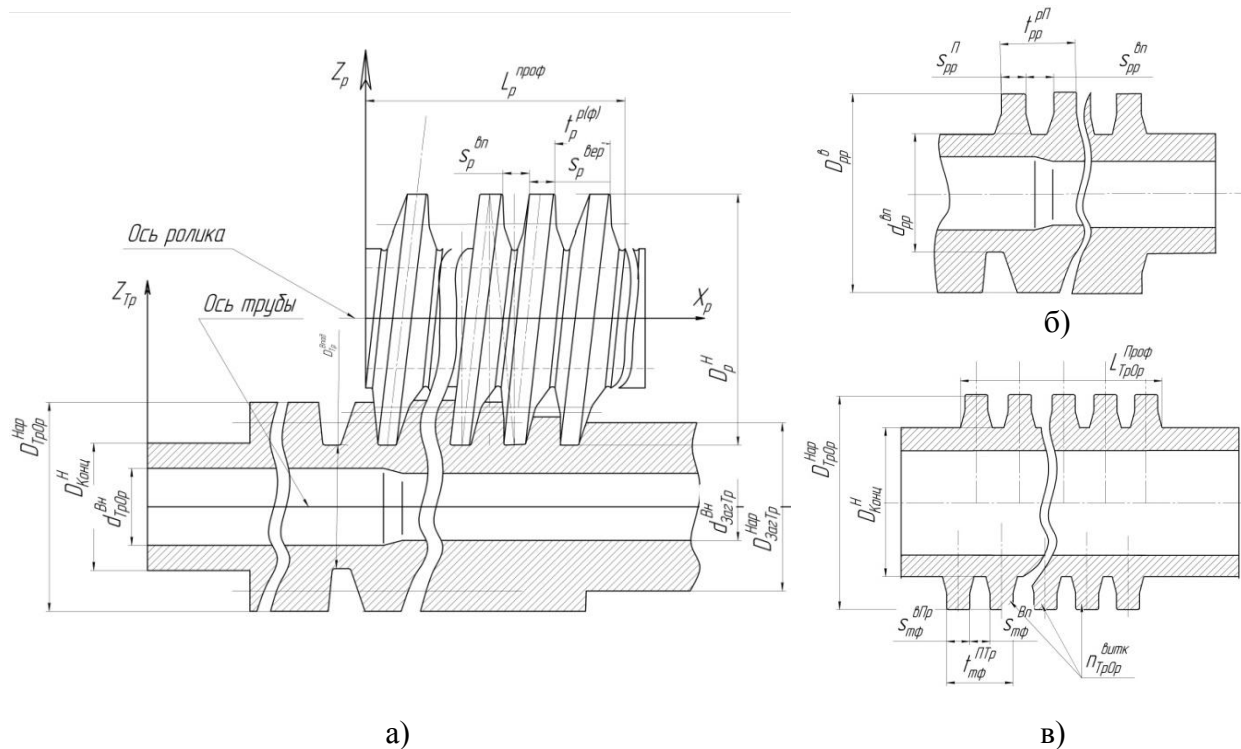


Рисунок 1. Формирование профиля оребрения трубы накатными роликами:
 а) сопряжение ролика накатного с тубой-заготовкой; б) расчетный профиль накатки;
 в) фактический профиль накатки на трубе.

На рис. 1а представлен эскиз оребренной медной трубы в сопряжении с формирующими роликами, обеспечивающими получение в конечных размерах готовой детали. На рис. 1б показан расчетный профиль накатки в осевом сечении трубы с расчетными размерами по шагу, по толщине накатанного витка и по ширине впадин, а также по высоте профиля. На рис. 1в показан фактически получаемый профиль накатки в осевом сечении трубы размерами профиля по шагу и по высоте.

Основные параметры накатного профиля трубы указаны на эскизах. При этом расчетный шаг накатки профиля $t_p^{проф}$ определяется выражением

$$t_p^{проф} = s_p^{сеп} + s_p^{сн}, \quad (1)$$

где $s_p^{сеп}$ - толщина витка накатки, а $s_p^{сн}$ - ширина впадины витков накатки.

В производственных условиях накатывание профиля трубы осуществлялось с расчетным шагом $t_p^{проф}=4$ мм, при этом $s_p^{сеп}=1,8$ мм, а $s_p^{сн}=2,2$ мм. Плоскость роликов профиля расположена под углом $\beta=6^\circ$ относительно продольной оси роликовой головки. Одновременно оси всех накатных роликовых головок расположены под тем же углом $\beta=6^\circ$ относительно продольной оси трубы (согласно размерам профиля накатных роликов). В результате прокатки трубы длиной 1280 мм с накатанной частью длиной 1250 мм длина трубы увеличилась на 5,25% до размера $L_{ТрФ}^{Проф}=1315,6$ мм по накатанной части. При этом шаг накатки на трубе фактически увеличился и стал равен $t_{Факт}^{проф}=4,21$ мм, ширина впадины витков возросла до $s_{Тф}^{ВнПр}=2,547$ мм, а толщина витка профиля $s_{Тф}^{ВПр}=1,673$ мм.

Можно представить шаг накатки по факту в виде суммы элементов

$$t_{Факт}^{проф} = t_p^{проф} + \Delta t_p^{проф}, \quad (2)$$

где $t_p^{проф}$ - расчетный шаг, а $\Delta t_p^{проф}$ - добавленная часть после фактической накатки.

В выражении (2) добавленная часть также может быть представлена суммой двух чисел

$$\Delta t_p^{проф} = \Delta s_{Тф}^{ВПр} + \Delta s_{Тф}^{Вн}, \quad (3)$$

где в (3) $\Delta s_{Тф}^{ВПр}$ - часть прироста шага за счет изменения ширины витка в осевом сечении, а $\Delta s_{Тф}^{Вн}$ - часть прироста за счет увеличения осевого размера впадины между витками.

Были проведены замеры параметров накатки на одной трубе: шага $t_{Факт}^{проф}$, ширины проточки $s_{Тф}^{ВнПр}$, толщины витка профиля $s_{Тф}^{ВПр}$, наружного диаметра $D_{Тр}^{Нпроф}$ витка накатанного профиля трубы, диаметра впадин $D_{Тр}^{снадПр}$, длины участка трубы с накатанным профилем $L_{ТрФ}^{Проф}$ в различных зонах от начала накатки до конца трубы через один виток. Данные фактических замеров по каждому параметру в отдельности были сгруппированы по числу одинаковых размеров, и записаны в таблицы.

Также были проведены измерения в одинаковых зонах разных труб с укрупненным отражением в отдельной технологической таблице.

Среднее значение увеличения шага витков фактической навивки профиля по сравнению с расчетным составляет 0,25 мм, что соответствует

5,25% удлинения. При этом среднее удлинение накатываемой части трубы в среднем составляет 64-66 мм, что соответствует $5,2\% \pm 0,1\%$.

При измерении шага витков на разных трубах замеры осуществлялись в сечениях труб по третьему-четвертому витку от каждого края трубы на всем объеме партии труб, устанавливаемых на один маслоохладитель (на один маслоохладитель устанавливается 54 трубы).

Данные замеров использованы для разработки эмпирической зависимости изменения элементов трубы при накатке путем их математической обработки.

На базе этих замеров построен график отклонений размеров шага витков от расчетной величины, представленный на рис. 2.

Минимальная величина отклонения составляет в сторону увеличения 0,115 мм.

Максимальная величина отклонения составляет в сторону увеличения 0,325 мм.

Максимальное число замеров (80%) в абсолютном измерении укладывается в интервал значений удлинений от +0,15 мм до +0,27 мм, указывающих интервал отклонений в «плюс» от расчетного значения.

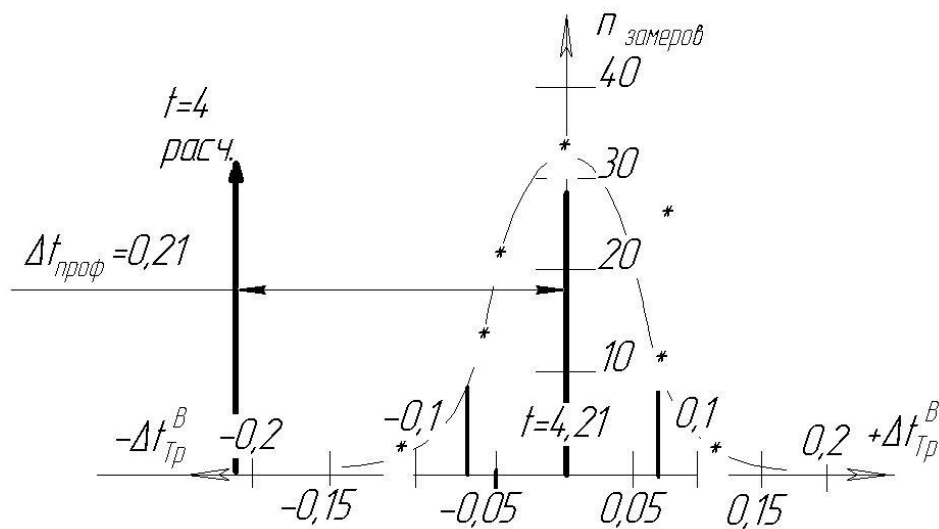


Рисунок 2. Распределение отклонений фактического шага витков профиля трубы от расчетного размера.

График распределения значений отклонений от расчетного шага 4 мм указывает, что основное значение шага витков фактически полученного профиля составляет 4,21 мм, что представляет собой величину номинального фактического шага витков профиля.

Величина удлинения шага витков является величиной относительно постоянной, поэтому можно фактический шаг представить в виде:

$$t_{\text{Факт}}^{\text{проф}} = t_p^{\text{проф}} + \Delta t_{\text{ф}}^{\text{проф}} = k_t \times t_p^{\text{проф}}, \quad (4)$$

где $\Delta t_{\text{ф}}^{\text{проф}}$ - приращение шага фактическое, а k_t - коэффициент удлинения фактического шага накатанного профиля трубы.

При подготовке к практической накатке профиля трубы можно при расчете длины заготовки пользоваться коэффициентом удлинения k_t ,

$$K_{заг} = k_t \times n_{Вфакт} = k_t \times \frac{t_{п}^{проф}}{t_{Факт}^{проф}}. \quad (5)$$

где $n_{Вфакт}$ – число витков профиля на длине накатанной трубы.

Из выражения (5) коэффициент удлинения заготовки $K_{заг}$ принимается для расчета длины заготовки в виде:

$$L_{Факт}^{загот} = K_{заг} \times L_{Расч}^{загот}. \quad (6)$$

Приемлемость для практического использования эмпирической зависимости (6) подтверждается графиком на рис.3, где показатель $\Delta t_{проф}$ означает изменение номинального размера шага витков на указанную величину и устойчивое положение этого размера относительно расчетного номинала.

В процессе изготовления маслоохладителя применяется 54 шт. медных труб профилированных длиной 1350 мм. При этом с двух сторон имеются законцовки длиной 25 мм и $\varnothing 17$ мм.

По результатам расчетов применена заготовка медной трубы наружного диаметра 22 мм, внутренний диаметр которой 14 мм. Расчетная длина заготовок под накатывание профиля принята $L = 1280$ мм.

Коэффициент $K_{заг}$ удлинения при накатке профиля будет зависеть от диаметра заготовки, диаметра профиля накатки и шага витков профиля.

Тогда эмпирическая формула для коэффициента $K_{заг}^{\Sigma}$, отражающего уменьшение длины заготовки трубы под накатывание можно выразить в виде произведения частных коэффициентов влияющих факторов:

$$K_{заг}^{\Sigma} = k_t \times k_{проф}^D \times k_{проф}^d \times k_{проф}^t \times k_{проф}^{n_{факт}}, \quad (6)$$

где в выражении (6) символы и обозначения коэффициентов отражают соответственно:

$$k_t \times k_{проф}^D \times k_{проф}^d \times k_{проф}^t \times k_{проф}^{n_{факт}}. \quad (7)$$

Таким образом, при практическом расчете длины заготовки медной трубы под накатывание винтовой линии можно пользоваться эмпирическим выражением (7) при том, что известны все параметры накатываемого профиля и выбранной заготовки трубы.

Заключение.

На базе результатов проведенных аналитических исследований и практического применения этих результатов подтверждены эмпирические зависимости удлинения накатанного профиля медных труб маслоохладителей в процессе накатки. Достигнуты положительные результаты при решении ряда следующих практических задач.

1. Определены и выделены функционально значимые связи конструктивных признаков накатанной трубы и элементов профиля накатных роликов.

2. Установлена взаимосвязь между конструктивно значимыми функциональными признаками труб и технологическими признаками инструментального воздействия в общей и локальных системах координат трубы и профиля накатки.

3. Разработан алгоритм разработки безотходной технологии изготовления оребренных труб из меди для маслоохладителей тепловозов.

4. Предложен порядок расчета предварительной длины трубы-заготовки для осуществления накатки профиля трубы маслоохладителя.

Список литературы

1. Миропольский Ю. А., Луговой Э.П.// Накатывание резьб и профилей. - М.: Машиностроение, 1976. - 175 с.

2. Адакин В. А.. // Инструмент для многопроходного холодного накатывания прямоугольных шлицевых профилей на валах - Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Научный руководитель кандидат технических наук, доцент Г. Д. Федотов Санкт-Петербург – 2014.

3. *Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена.* — Изд. 5-е перераб. и доп. — М.: Атомиздат, 1979, 416 с.

4. Михайлов А. Н., Котляров В. Б., Котляров Б. С., Котляров С. Б., Пичко А. П.//Порядок технологического обеспечения разработки ФОТ оребренных медных труб маслоохладителей маневровых тепловозов. XXIX МНТК «Машиностроение и техносфера XXI века», Сборник трудов. Учредитель и издатель – ДНТУ, г. Донецк. ISSN 2079-2670

5. Котляров В. Б., Котляров С. Б., Михайлов А. Н.// К вопросу расширения области применения ФОТ в ремонтном производстве специфических деталей тепловозов. XXIX МНТК «Машиностроение и техносфера XXI века», Сборник трудов. Учредитель и издатель – ДОННТУ, г. Донецк.

УДК 622.238

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА
ТРУБОПРОВОДОВ ПНЕВОТРАНСПОРТНЫХ УСТАНОВОК
СИСТЕМ ПЫЛЕПРИГОТОВЛЕНИЯ И ЗОЛОШЛАКОУДАЛЕНИЯ
ТЭС**

**В.Я. Потапов, проф., А.И. Афанасьев, проф., П.А. Костюк, ст. пр., В.В. Потапов, доц.,
П.В. Трутьев, асс.**

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ

Методика расчёта абразивного износа трубопроводов пневмотранспортных установок, позволяет снизить износ трубопроводов и долговечность, благодаря новому методу – «Каменное литьё»

Ключевые слова: пневматическая установка, абразив, коэффициент относительной износостойкости трубопроводов из различных материалов, аэроэлементы, малый коэффициент трения, швеллер, каменное литьё

**METHOD OF CALCULATION OF ABRASIVE WEAR OF PIPELINES OF
PNEUMATIC TRANSPORT INSTALLATIONS OF DUST PREPARATION
AND ASH AND SLAG REMOVAL SYSTEMS OF THERMAL POWER
PLANTS**

V.Ya. Potapov, A.I. Afanasyev, P.A. Kostuk, V.V. Potapov, P.V. Trut'ev

The method of calculating the abrasive wear of pipelines of pneumatic transport installations, allows to reduce the wear of pipelines and durability, thanks to a new method – «Stone casting»

Keywords: Pneumatic installation, abrasive, coefficient of relative wear resistance of pipelines made of various materials, aeroelements, low coefficient of friction, channel, stone casting

Расчет удельного линейного абразивного износа трубопроводов пневмотранспортных установок систем пылеприготовления и золошлакоудаления ТЭС $\delta_{уд.h}$ выполняется для горизонтальных и наклонных участков по зависимости (2.2): [1, 2]

$$\delta_{уд.h} = \frac{5,55 \cdot 10^{-7} K_{п} U_m^2 k_{SiO_2}}{D^2 m^{0,4} k_{изн}}, \text{ мм/т} \quad (1)$$

а для вертикальных участков по зависимости (2.3):

$$\delta_{уд.h} = \frac{1,39 \cdot 10^{-7} K_{п} U_m^2 k_{SiO_2}}{D^2 m^{0,4} k_{изн}}, \text{ мм/т} \quad (2)$$

где

$$k_{SiO_2} = \frac{K_{п} = \rho_s d_0 / 6}{\% \text{ содержания } SiO_2 \text{ в транспортируемом материале}} \text{ или} \\ \% \text{ содержания } SiO_2 \text{ в кварцевом песке} \\ k_{SiO_2} = \% SiO_2 / 94$$

$k_{изн}$ определяется по выражению (3):

$$k_{изн} = 6,42 \cdot 10^{-5} HV^2 - 0,0157 \cdot HV + 1,97 \quad (3)$$

или выбирается из табл. 1.

Для увеличения долговечности пневматической установки, перемещающей сыпучие абразивные строительные грузы, следует по возможности снижать скорость транспортировки частиц, а также применять износостойкие стали, сплавы, полимеры и другие материалы, используемые для изготовления наиболее изнашиваемых деталей.

Для снижения абразивного износа трубопровода трассу необходимо прокладывать без наклонных участков и применять колена с плавным поворотом (рис. 1) (при подаче цемента оптимальный радиус поворота равен 1,5 и 2 м соответственно для трубопроводов диаметром 0,10 и 0,15 м).

Пневматическое перемещение абразивного материала приводит к истиранию горизонтальных трубопроводов преимущественно вдоль их нижней внутренней стороны на протяжении 20...25% длины окружности. Один из способов защиты горизонтального трубопровода от истирания – создание на дне трубы подстилающего слоя толщиной 0,1...0,2 диаметра трубопровода, что позволяет заменить абразивный износ транспортного трубопровода трением материала по материалу. Под действием центробежной силы наибольшему абразивному износу при пневмотранспорте подвержена внешняя сторона внутренней поверхности колена или переключателя.

Таблица 1

Коэффициент относительной износостойкости трубопроводов
из различных материалов, $k_{изн}$

Материал трубопровода	Твердость по Викерсу, HV	Коэффициент относительной износостойкости трубопровода из различных материалов, $k_{изн}$
Медь	125	1,00
Сталь 5	130	1,01
Сталь 25Л	130	1,01
Сталь 3	135	1,02
Сталь 10	137	1,02
Сталь 4сп	140	1,03
Сталь 5сп	150	1,06
Сталь 20	156	1,08
Сталь 35Л	160	1,10
Сталь 35	187	1,28
Сталь 25Г2	200	1,40
Сталь 37 (St 37)	210	1,50
Сталь 40, 40X (отж.)	217	1,59
Серый чугун	223	1,66
Сталь 30ХГС, Сталь 30ХГСА	229	1,74
Сталь 55Л (с термообработкой)	240	1,90
Сталь 45	241	1,92
Сталь 30Х13	270	2,41
Сталь 40Х13	300	3,04
Сталь 55Л	340	4,05
Сталь Х5CrNi189	380	5,27
Трубы с алюмотермическим покр.	2500	364,00

С целью нейтрализации действия центробежной силы через аэроэлементы или форсунки подается сжатый воздух, который образует у внешней стороны колена (или переключателя) так называемую воздушную пробку, предохраняющую наиболее изнашиваемую часть колена от контакта с частицами движущего материала.

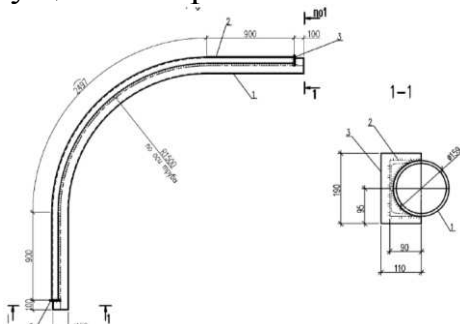


Рис. 1. Плавный отвод с накладкой из швеллера

Один из распространенных методов борьбы с абразивным износом (рис. 2) - покрытие внутренних поверхностей трубопроводов и арматуры полимерными материалами или же использование каменного литья. Эти материалы обладают малым коэффициентом трения и высокой износостойкостью, например, использование вкладышей из каменного литья позволяет достичь срока службы трубопроводов 10 и более лет.



Рис. 2. Фотография трубы, футерованной каменным литьем:

Существенное влияние на процесс пневмотранспортировки оказывает и форма частиц. Как показывает практика [3, 4], при прочих равных условиях лучше транспортируются частицы неправильной формы, поэтому корректный учет в расчетных методиках не сферичности частиц является еще одной задачей теории пневмотранспорта.

Список литературы

1. Батаногов А.П. Подъемно-транспортное, хвостовое и ремонтное хозяйство обогатительных фабрик: Учеб. для вузов. — М.: Недра, 1989. — 336 с.: ил.
2. Расчеты аппаратов кипящего слоя: Справочник // Под ред. И.П. Мухленова, Б.С. Сажина, В.Ф. Фролова. - Л.: Химия, 1986. - 352 с.
3. Давыдов С.Я. Энергосберегающее оборудование для транспортировки сыпучих материалов: Исследование, разработка, производство // УГТУ-УПИ. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2007. – 317 с. – Библиогр.: с.306 – 317.
4. Урбан Я. Пневматический транспорт // Пер. с чеш. /Под ред. Л.М. Шведова. – М.: Машиностроение, 1967. – 256 с. – Библиогр.: с. 253

УДК 624.014

К ВОПРОСУ РАСЧЕТА МЕСТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЕЗДОВЫХ ПРОФИЛЯХ

М.С. Соколов, Д. А. Огорелков, Г.Г. Кожушко

УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, РФ

В горнодобывающей промышленности широко используются двутавровые балки в качестве ездовых профилей для технологического обслуживания оборудования. Методика расчета двутавровых балок регламентируется несколькими действующими нормативными документами и разными методиками. В докладе приводится анализ разных методов расчета на прочность ездовых двутавровых балок.

Ключевые слова: двутавр, ездовая балка, расчет на прочность, допускаемые напряжения, нормативная документация.

ON THE ISSUE OF CALCULATING LOCAL STRESSES IN RIDING PROFILES

Sokolov M.S., Ogorelkov D.A., Kozhushko G.G.

In the mining industry, I-beams are widely used as driving profiles for technological service equipment. The method for calculating I-beams is regulated by several current regulatory documents and different calculation methods. The report provides an analysis of different methods for calculating the strength of driving I-beams.

Keywords: I-beam, riding beam, strength calculation, allowable stresses, regulatory documentation.

В машиностроении широко используются двутавровые балки в качестве направляющих грузоподъемных механизмов типа талей и кран-балок для различных транспортно-технологических назначений, например, при транспортировании небольших грузов при выполнении ремонтов. При проектировании и выборе двутавров необходимо учитывать не только общие изгибные напряжения, которые рассчитываются по простейшим формулам сопротивления материалов, но и местные напряжения, возникающие в конструкции. Местные напряжения регламентируются различными нормативными документами [1-3], некоторые из которых до сих пор имеют свою актуальность, и расчетными методиками [4-5], выведенными общепризнанными исследователями.

В докладе приводится сравнительный анализ различных методик расчета стальных двутавров, испытывающих контактное давление от действия колесных пар тельфера или кран-балки, эксплуатируемых на них.

ГОСТ 33169-2014 «Краны грузоподъемные. Металлические конструкции. Подтверждение несущей способности» [1], как и ряд других нормативных документов и методик [2-5], требует учитывать помимо нормальных изгибных напряжений влияние местного давления. По ГОСТ расчет нижнего пояса на прочность в зонах 1, 2 и 3 (рис. 1) осуществляется по формуле [1]

$$\sigma_{es} = \sqrt{(\sigma_x + \sigma_{xi})^2 + \sigma_{yi} - (\sigma_x + \sigma_{xi})\sigma_i} \leq [\sigma], \quad (1)$$

где σ_x – напряжение от общего изгиба балки в расчетной зоне, σ_{xi} и σ_{yi} для разных точек ($i=1, 2, 3$, см. рис. 1) вычисляются по формулам

$$\sigma_{xi} = k_{xi} \frac{P}{t_f^2}, \quad \sigma_{yi} = k_{yi} \frac{P}{t_f^2}, \quad (2)$$

где P – нагрузка, создаваемая одним ходовым колесом; t_f – толщина пояса; k_{xi} , k_{yi} – расчетные коэффициенты для каждой расчетной точки, зависящие от геометрии балки: $k_{x1} = 0,8 - \vartheta$; $k_{x2} = -0,4 + \vartheta$; $k_{x3} = (0,32 + \vartheta)/(0,1 + \vartheta)$; $k_{y1} = 2,5(1 - 0,8 \cdot \vartheta)$; $k_{y2} = -2,5(1 - 0,8 \cdot \vartheta)$; $k_{y3} = 4,5\vartheta(1 - \vartheta)$, где $\vartheta = 2 \cdot c / (b - t_w)$.

Строительные нормы и правила, часть II, глава 23, «Стальные конструкции» в разделе «Подкрановые балки» регламентируют [2], что расчет на прочность подкрановых балок на действие вертикальных и горизонтальных нагрузок следует выполнять согласно требованиям п. 5.17 данного документа, в котором приводится базовая формула из теории сопротивления материалов для косо го изгиба [2]

$$\frac{M_x}{J_{x1}} y \pm \frac{M_y}{J_{y1}} x \leq R_y \cdot \gamma_c,$$

где x и y – координаты рассматриваемой точки сечения относительно главных осей, R_y – расчетное сопротивление по пределу текучести, γ_c – коэффициент условий работы.

Однако нельзя не заметить в конце данного раздела общую рекомендацию без каких-либо конкретных выражений, что «расчет на прочность подвесных балок крановых путей (монорельсов) следует выполнять с учетом местных нормальных напряжений в месте приложения давления от колеса крана, направленных вдоль и поперек оси балки» [2].

Документ СТО 24.09-5821-01-93 «Краны грузоподъемные промышленного назначения. Нормы и методы расчета элементов стальных конструкций» так же регламентирует проводить расчет в опасных точках двутавра (рис. 2) и предписывает ряд формул, в которые входят ряд стандартных эмпирических параметров, которые выбираются по прилагаемой таблице в соответствующей главе («12. Расчет полок ездовых профилей на действие местных напряжений»).

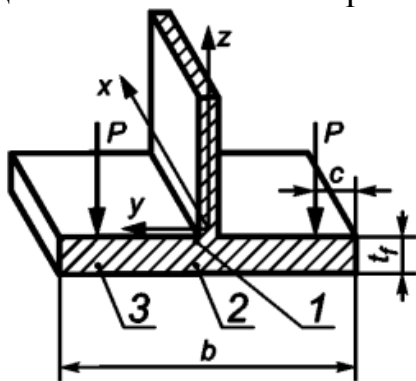


Рис.1 – Схема местного нагружения ездовой балки [1]

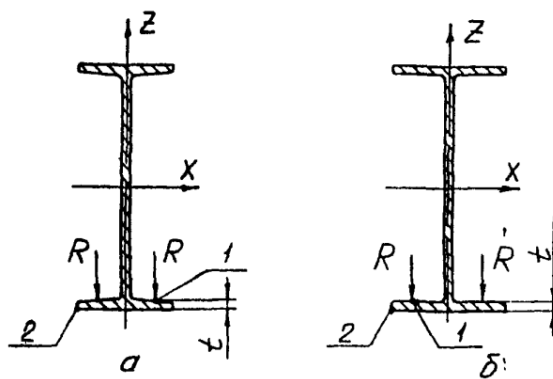


Рис.2 – Схема сечений балки, представленных в СТО [3] а – с наклонными полками; б – с горизонтальными

Методики [4-5], написанные известными исследователями в области краностроения, имеют аналогичный вид формуле (1) определения напряжений, возникающих от общего изгиба и действия контактных напряжений, где коэффициенты напряженного состояния σ_{xi} и σ_{yi} определяются по формулам (2), где в отличие от ГОСТ коэффициенты k_{xi} и k_{yi} для соответствующих точек (1, 2 и 3, см. 1) определяются по графикам, представленным в соответствующих работах [4-5]. В качестве продолжения работы [5] выполнен сравнительный анализ разных тавровых балок с помощью использования метода конечных элементов [6], где анализ результатов численных экспериментов для разных конструкций имеет расхождение с теоретическими способами расчета (в зависимости от типа тавра).

Резюме. Не смотря на наличие широкого набора расчетных методик и разброс расчетных значений, рекомендуется использование современных вычислительных пакетов, реализующих в себе метод конечных элементов, для установления истинного значения. При САЕ-анализе будет моделироваться только двутавровая балка (в качестве одной детали, без сборки), а удаленностью закрепления по краям профиля от точки приложения нагрузки можно скомпенсировать краевой эффект, обусловленный влиянием граничных условий на конечные элементы. Для решения данной задачи подойдут как хорошо известные импортные, так и отечественные вычислительные средства 3-D моделирования физических процессов реального нагружения, реализующие в себе метод конечных элементов. Однако требуется уделять особое внимание типу и размеру конечного элемента в опасной зоне для получения достоверных результатов моделирования нагружения.

Список литературы

1. ГОСТ 33169-2014. Краны грузоподъемные. Металлические конструкции. Подтверждение несущей способности. – Введ. 2015–06–24. – Москва: Стандартинформ, 2015 – 55 с.
2. СП 16.13330.2017 "Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*" (с Поправкой, с Изменениями N 1, 2). – Введ. 2017–02–27. – Москва: Стандартинформ, 2017 – 140 с.
3. СТО 24.09-5821-01-93 Краны грузоподъемные промышленного назначения. Нормы и методы расчета элементов стальных конструкций. – Введ. 1993–06–25. – 136 с.
4. Справочник по кранам: В 2 т. Т.1. Характеристики материалов и нагрузок. Основы расчета кранов, их приводов и металлических конструкций / В.И. Брауде, М.М. Гохберг, И.Е. Звягин и др.; Под общ. ред. М.М. Гохберга. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. – 536 с.: ил.
5. Соколов С.А. Строительная механика и металлические конструкции машин: учебник. – СПб.: Политехника, 2011. – 450 с.: ил.
6. Соколов, С.А. Расчет на прочность и сопротивление усталости ездовых балок с катанием по нижнему поясу / С.А. Соколов, С.В. Краснова // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – Санкт-Петербург, 2014. – 1(190). – С. 149-155.

УДК 621.923.9

СПОСОБ ОБРАБОТКИ АЛЮМИНИЕВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЭЛЕГАЗОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ МЕТОДОМ МАГНИТНО- АБРАЗИВНОГО ПОЛИРОВАНИЯ

Н. И. Сорокопуд, магистрант

Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, РФ

Элегазовый трансформатор – типа трансформаторов, в котором в качестве изоляционного материала используется гексофторид серы SF₆ (элегаз). Корпус трансформатора находится под высоким потенциалом напряжения, важным показателем безотказной работы устройства является шероховатость внутренней поверхности изделия, так как от этого показателя зависит модель распределения магнитного поля внутри устройства. Традиционные методы окончательной обработки поверхности имеют ряд существенных недостатков. Целью данной работы является предложение метода магнитно-абразивной обработки с внедрением способа варьирования значениями режимных параметров для обеспечения более производительной обработки. Был проведен эксперимент по определению воздействия изменения магнитной индукции на качество обработанной поверхности, использовался абразивный порошок ПР6М5, рабочий зазор 3 мм, используемые значения магнитной индукции – 0,4 Тл, 0,6 Тл и 0,8 Тл. Результатом проведения эксперимента стало изменение шероховатости поверхности, обработанной методом магнитно-абразивной обработки, с Ra = 1,6...1,8 мкм до Ra = 0,18...0,28 мкм.

Ключевые слова: магнитно-абразивная обработка, элегазовый трансформатор, гексафторид серы SF₆, магнитная индукция, АМц.

THE METHOD OF PROCESSING ALUMINUM SURFACES OF GAS TRANSFORMERS USING MAGNETIC ABRASIVE POLISHING

N.I. Sorokopud

An elegaz transformer is a type of transformer in which sulfur hexafluoride SF₆ (elegaz) is used as an insulating material. The transformer housing is under high voltage potential, an important indicator of the trouble-free operation of the device is the roughness of the inner surface of the product, since the model of the distribution of the magnetic field inside the device depends on this indicator. Traditional methods of final surface treatment have a number of significant disadvantages. The purpose of this work is to propose a method of magnetic abrasive treatment with the introduction of a method for varying the values of the operating parameters to ensure more productive processing. An experiment was conducted to determine the effect of changes in magnetic induction on the quality of the treated surface, an abrasive powder PR6M5 was used, a working gap of 3 mm; the values of magnetic induction used were 0.4 Tl, 0.6 Tl and 0.8 Tl. The result of the experiment was a change in the roughness of the surface treated by magnetic abrasive treatment from Ra = 1.6 ... 1.8 microns to Ra = 0.18 ... 0.28 microns.

Keywords: magnetic-abrasive machining, gas transformer, sulfur hexafluoride SF₆, magnetic flux density, Al 3003.

Одним из важнейших элементов городской энергосети являются подстанции, и используемые в них трансформаторы. Наиболее распространённым типом трансформаторов являются масляные трансформаторы, изоляционным материалом в которых используются различные масла, чаще всего на нефтяной основе. Повышенная пожароопасность такого типа устройств создаёт необходимость поиска их более безопасной замены. Таким аналогом могут выступать элегазовые трансформаторы [1].

Основным отличием элегазовых трансформаторов от их масляных аналогов является применение гексафторида серы SF₆ (элегаз) в качестве изоляционного материала, требующий повышенного качества внутренних поверхностей. Низкая шероховатость и дефекты могут приводить к возмущениям в магнитном поле, генерируемом при работе трансформатора, и дальнейшему образованию коронных разрядов и пробоев, нарушающие безотказную работу устройства. Корпус выполняется из сплава алюминия с марганцем АМц, и традиционно обрабатывается вручную шкуркой или угловой шлифовальной машиной с вулканитовыми полировочными кругами. Такой метод трудоёмок, требует больших затрат времени, и должен выполняться рабочим высокой квалификации [2].

Альтернативным способом, который может использоваться для обозначенных задач, может выступать способ магнитно-абразивного полирования, использующий магнитный абразивный порошок, в котором находится заготовка в качестве режущего инструмента удерживанием его в зоне обработки магнитным полем, генерируемым катушками индуктивности. Заготовке придаётся вращательное и осциллирующее циклическое движение для снятия с неё тонкого слоя материала [3].

Основным достоинством данного метода является низкая температура в зоне обработки, не превышающая 150°C, что исключает опасность шаржирования, а также снижает риск тепловых структурных изменений поверхностного слоя, что крайне важно при обработке внутренней поверхности корпусов элегазовых трансформаторов; циклические нагрузки в процессе обработки также невелики, метод гораздо производительней ручной обработки и не относится к дорогостоящим вследствие дешевизны абразивного материала [4].

Магнитно-абразивная может быть реализована с использованием возможностей систем с ЧПУ, что открывает возможности варьирования режимными параметрами в процессе обработки, что открывает дополнительные возможности по формированию поверхностного слоя [5,6]. Согласно исследованиям Акуловича Л.М. и Сакулевича Ф.Ю., в соответствии с определёнными режимными параметрами процесс магнитно-абразивной обработки может быть классифицирован как черновой, получистовой и чистовой [7]. В случае с магнитно-абразивной обработкой, как было отмечено выше, параметром, определяющим силовое воздействие, а также жёсткость обработки, является величина магнитной индукции, которая наряду со скоростью подачи оказывают наибольшее влияние на результирующие показатели качества поверхности [8]. Жёсткость обработки и силовое воздействие в лабораторных условиях могут быть рассмотрены как необходимые и достаточные для разделения технологического процесса по точности выполняемой обработки. Возможность закономерного изменения индукции в процессе обработки позволяет совместить в одном технологическом переходе черновой, получистовой и чистовой этапы обработки [4].

Для проверки данной теории был проведен эксперимент по магнитно-абразивной обработке пластин из сплава АМц. Эксперимент был проведён в два этапа: первый состоял из трёх опытов неизменными режимными параметрами, отличающимися друг от друга величиной магнитной индукции; время обработки равнялось шести минутам. На втором этапе каждые 2 минуты, не прерывая процесса обработки, величина магнитной индукции менялась, суммарное время обработки также составило шесть минут. Из трёх различных значений магнитной индукции можно составить шесть уникальных комбинаций, соответственно было проведено шесть опытов во втором этапе эксперимента. В обоих случаях шероховатость была значительно уменьшена (величины неровностей были снижены приблизительно в 8 раз, с $Ra = 1,6 \dots 1,8$ мкм до $Ra = 0,18 \dots 0,28$ мкм).

Предполагалось, что варьирование значениями магнитной индукции позволит за аналогичный стационарному режиму промежуток времени (6 минут для данного эксперимента) получить поверхность более высокого качества. Тем не менее, сравнение результатов двух опытов из различных этапов показало, что шероховатость поверхности в обоих случаях во многом идентична. Помимо показателей качества поверхности, результаты двух этапов были оценены по количеству снятого в процессе обработки материала. Мерой сравнения в данном случае выступала разница в массе заготовок до и после обработки. Установлено, что в процентном отношении к изначальной массе конкретной заготовки при варьировании индукции было снято больше материала (0,039 г, что составляет 0,92%), чем при её постоянном значении (0,028 г, 0,67%). Это может трактоваться более глубокой обработкой, одним из основных плюсов которой является возможность удаления большего количества дефектов, полученных на предшествующих этапах обработки. Это явление может быть заметно при визуальном осмотре заготовок. Заготовка, обработанная при изменяющихся значениях магнитной индукции, выглядит более гладкой и зеркальной. Обозначенные ранее результаты экспериментов могут быть свидетельством возможности реализации совмещения в процессе одного технологического перехода магнитно-абразивного полирования черного, получистового и чистового этапов обработки материала.

Таким образом, главной идеей данной работы является не только замена низкопроизводительного метода ручного полирования алюминиевого сплава АМц при обработке внутренней поверхности корпуса элегазового трансформатора методом магнитно-абразивной обработки, но и предложение возможности использования дополнительных возможностей применяемого в методе оборудования для получения при прочих равных условиях повышенных характеристик качества или интенсивности обработки, а также повышение общей производительности процесса магнитно-абразивной полирования. Для подтверждения реализации возможности объединения черного, получистового и чистового этапов в одном технологическом переходе был проведён ряд экспериментальных опытов, сравнивающих ре-

зультаты обработки заготовок из мягкого сплава АМц при постоянной и изменяемой с определённой периодичностью магнитной индукцией. Данный показатель обработки был выбран ввиду своего существенного влияния на процесс магнитно-абразивной обработки. Результатом стало достижение значительное снижение шероховатости обоими способами, а также большее снятие материала при варьировании индукции, что говорит о более глубокой обработке, что в свою очередь свидетельствует о возможности реализации проверяемой идеи.

Список литературы

1. Shen, Z., Wang, F., Wang, Z., & Li, J. (2021). A critical review of plant-based insulating fluids for transformer: 30-year development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
2. Семенов, К. О. Инструмент-электрод для электрохимического полирования пространственно-сложных поверхностей / К. О. Семенов, Д. А. Расторгуев // *Технические науки - от теории к практике*. – 2014. – № 31. – С. 39-44.
3. Хомич, Н. С. Магнитно-абразивная обработка изделий: монография / Н. С. Хомич. – Мн.: БНТУ, 2006. – 218 с..
4. Акулович, Л. М. Основы магнитно-абразивной обработки металлических поверхностей / Л. М. Акулович, Л. Е. Сергеев, В. Я. Лебедев. – Минск: БГАТУ, 2012. – 316 с.
5. Нагоркин М. Н. Надёжность технологического обеспечения шероховатости и износостойкости поверхностей деталей инструментами из синтетических сверхтвёрдых материалов: дис. ...док. техн. наук: 05.02.08 / Нагоркин Максим Николаевич; науч. рук. А. В. Тотай; ФГБОУ ВО «БГТУ» – Брянск, 2019. – 374 с.
6. Технологические особенности магнитно-абразивной обработки в условиях цифровых технологий / В. В. Максаров, А. И. Кексин, И. А. Филипенко, И. А. Бригаднов // *Металлообработка*. – 2019. – № 4(112). – С. 3-10.
7. Максаров, В. В. Повышение качества внутренних резьбовых поверхностей для высоконагруженных изделий / В. В. Максаров, С. А. Васин, А. И. Кексин // *СТИН*. – 2021. – № 7. – С. 11-14.
8. Maksarov, V. V., Keksin, A. I., & Filipenko, I. A. (2022). Influence of magnetic-abrasive processing on roughness of flat products made of amts grade aluminum alloy. *Tsvetnye Metally*, 2022(7), 82-87.

**РЕМОНТ, СЕРВИСНОЕ
ОБСЛУЖИВАНИЕ
И ДИАГНОСТИКА ГОРНОГО
ОБОРУДОВАНИЯ**

*Чтобы óжил экскаватор,
Чтоб дробилка ожилá,
Должен мастер-реставратор
В их наведаться тела!*

Доц. П.А. Жиганов

УДК 621.879

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ТРЕНАЖЕРА-ИМИТАТОРА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭКСКАВАТОРА

Е.И. Райская¹, студ., И.В. Телиман¹, к.т.н., ст.преп.

¹Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, Казахстан

Статья посвящена обзору возможностей и опыту применения учебного симулятора экскаватора в составе учебного тренажера в учебном процессе для специальности «Технологические машины и оборудование».

Ключевые слова: симулятор, тренажер, экскаватор, безопасность, лабораторный практикум.

EXPERIENCE WITH THE DYNAMIC HYDRAULIC EXCAVATOR SIMULATOR

E.I. Rayskaya, I.V. Teliman

The article is devoted to the review of the possibilities and experience of using the training simulator of an excavator as a part of the training simulator in the educational process for the specialty "Technological machinery and equipment".

Keywords: simulator, simulator, excavator, safety, laboratory practice.

Большое количество отказов рабочего оборудования гидравлических экскаваторов связано с уровнем квалификации операторов и специалистов сервисной службы.

Экономические условия современного рынка предъявляют особые требования к выпускникам высших учебных заведений – бакалаврам техники и технологии. В методику современного образования все шире внедряются компьютерные тренажеры (симуляторы) [1]. Причина большой популярности компьютерных тренажеров заключается в их способности реализовать эффективный способ обмена информацией. Возможности исследования и запоминания информации, формирования новых навыков и компетенций при этом в несколько раз превосходит традиционные академические способы. Эти и другие качества компьютерных тренажеров имеют большую значимость при подготовке и повышении квалификации работников – операторов сложной техники, особенно там, где цена ошибки существенно выше расходов на обучение [2].

Тренажеры обеспечивают повышение эффективности формирования у студентов производственных навыков управления технологическими процессами, определения причин неисправностей в технических объектах, выполнения и отработки сложных движений и т.д. Тренажеры позволяют обучать работе с различными сложными (зачастую, дорогостоящими) техническими устройствами и системами, в то время как обучение на реальном оборудовании является опасным. Одним из существенных преимуществ использования тренажеров как средств обучения является то, что они способствуют повышению интереса к обучению и тем самым обеспечивают ускорение процесса формирования навыков. Упражнения на тре-

нажере проводятся до тех пор, пока действия обучаемых не будут закреплены до автоматизма, т.е. не станут в необходимой степени точными и уверенными [3].

В Карагандинском техническом университете имени Абылкаса Сагинова на кафедре «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация» в рамках дисциплины «Горные машины 1» учебного плана образовательной программы 5В07111 «Технологические машины оборудование (по отраслям)» при изучении конструкций выемочно-погрузочных машин для открытых горных работ и для получения первоначальных навыков работы используется компьютерный тренажер-имитатор гидравлического экскаватора с обратной лопатой (рис. 1).



Рис. 1 – Общий вид тренажера-имитатора гидравлического экскаватора с обратной лопатой

В компьютерном тренировочно-обучающем комплексе в качестве прототипа выбран гидравлический одноковшовый экскаватор на гусеничном ходу с рабочим оборудованием обратная лопата. На рис. 2 показано рабочее окно выбора заданий и общий интерфейс обучающей программы. Работа экскаватора моделируется на трех многофункциональных мониторах. В тренажере-имитаторе набор учебных упражнений выстроен по принципу "от простого к сложному", и направлен на формирование навыков управления рабочим органом и ходом экскаватора [4]. Детально смоделированные рабочие и учебные площадки, а так же точная модель виртуального экскаватора позволяют проводить эффективное обучение (рис. 2).

Тренажер-имитатор имеет органы управления (рис. 3), имитирующие органы управления реальным экскаватором с рабочим оборудованием обратной лопаты.

Тренажер-имитатор позволяет выполнить следующее: позиционирование ковша, перемещение ковша, работа рукоятью и стрелой, перемещение экскаватора с трала в рабочую зону, погрузка материала, копание траншей, работа с навесным оборудованием, перемещение грузов, позиционирование самосвала при загрузке, отработка эффективности цикла.

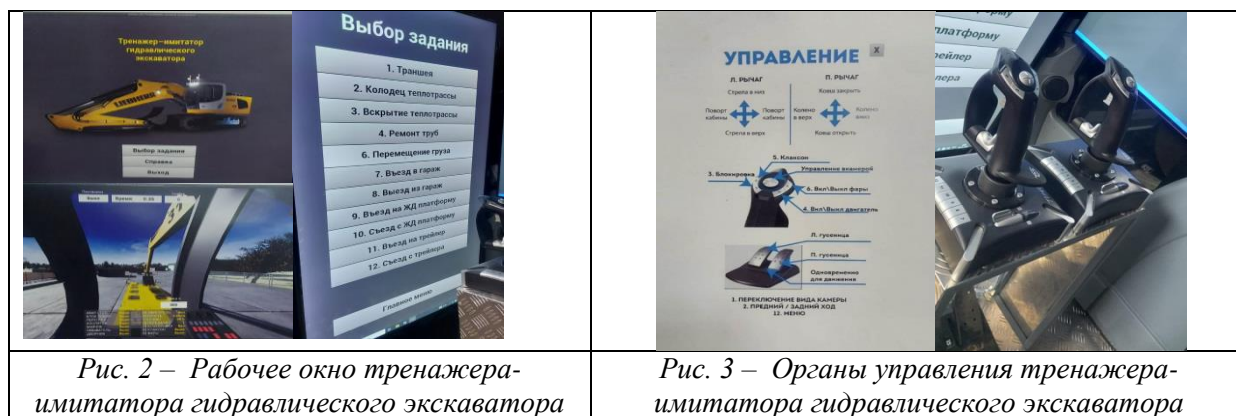


Рис. 2 – Рабочее окно тренажера-имитатора гидравлического экскаватора

Рис. 3 – Органы управления тренажера-имитатора гидравлического экскаватора

При выполнении заданий также учитываются правильность и быстрота его исполнения. Перечисленные задания объединены в комплекс лабораторных работ, позволяющий работать в малых группах (по 3-4 человека).

Обучение и выполнение заданий лабораторного комплекса позволит:

- безопасно учиться и совершать ошибки, не нанося вреда реальному объекту и персоналу;
- исключить риски поломок дорогостоящей техники в процессе обучения;
- максимально изучить функционал выемочно-погрузочного оборудования, а также применяемые технологии для более эффективного применения техники [5].

Выводы:

Тренажеры-имитаторы карьерной техники позволяют реализовать использование эффективных образовательных технологий в учебном процессе, обеспечить приобретение студентам востребованных современным рынком профессиональных компетенций в условиях реального производства. Обучение на тренажёре дает возможность студенту получить представление о технологическом процессе управления техникой, а также изучить его еще до начала реальной эксплуатации, включая основы безопасности проведения работ, изучение органов управления техникой и технологию проведения работ.

Список литературы

1. Чурин В.В., Остроух А.В. Сравнительный анализ компьютерных тренажеров для подготовки рабочих дорожно-строительных профессий // В мире научных открытий. Проблемы науки и образования. – 2011. – № 9 (21). – С. 131 – 148.
2. Ю.М. Ляшенко, А.Ю. Ляшенко, Е.А. Ревякина Применение компьютерных тренажеров в образовательном процессе машинистов одноковшовых экскаваторов как инструмент повышения уровня показателей функционального статуса// Современные прикладные исследования: материалы национальной научно-практической конференции. – Новочеркасск: Изд-во ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова, 2021. – С. 236-242.
3. Полевщиков И.С. Модель и алгоритмы системы автоматизированного управления формированием сенсомоторных навыков у операторов технологических установок с применением компьютерных тренажеров: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.10. Пермь, 2018.
<https://www.tngsim.ru/shop/52/desc/uchebnyj-trenazher-ehkskavator-student-2>
https://www.zepelin.ru/uslugi/uchebnyy-tsentr/assets/documents/Training_course_Excavator.pdf

УДК 622.002.05

ПРИКЛАДНОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ ТОиР ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Л.И.Андреева^{1,2}, гл. научный сотрудник, д.т.н., Т. И.Красникова², науч. сотр., к.т.н.

¹Челябинский филиал Института горного дела Уро РАН, г. Челябинск

²ООО «Научно-исследовательский институт эффективности и безопасности горного производства» (ООО «НИИОГР»), г. Челябинск

Освещены основные задачи информационного обеспечения ремонтной службы, приведен алгоритм информационного обеспечения ремонтного производства и блок-схема программно-технологического комплекса оценки технического состояния горной техники.

Ключевые слова: ремонтное производство, информационное обеспечение ремонтного производства, программно-технологический комплекс.

APPLIED SOFTWARE OF THE MRO SYSTEM OF A MINING ENTERPRISE

L. I. Andreeva, T. I. Krasnikova

Highlights the main tasks of information support for repair production, provides an algorithm for the software-technological complex for assessing the technical condition of mining equipment.

Keywords: repair production, information support for repair production, software and technological complex.

В деятельности горнодобывающих предприятий (ГДП), представляющих собой значительное количество связанных и взаимодействующих подразделений, передача информации является неременным и первостепенным фактором нормального функционирования ГДП. При этом особое значение приобретает обеспечение оперативности и достоверности поступающих сведений.

Для многих горнодобывающих предприятий информационная система решает задачи организации технологического процесса и носит производственный характер, предоставляет информацию для принятия управленческих решений. Важное значение имеет информация о возникновении в ходе производства отклонений от плановых показателей, требующих принятия оперативных решений и действий.

Алгоритм формирования информационного обеспечения в ремонтном производстве (РП) приведен на рисунке 1. Предложенный алгоритм, разработанный на основе функционального подхода, позволяет получить адекватную модель системы ремонтного производства и дает возможность при стандартизации процессов прогнозировать ее поведение [1].

В информационной системе необходимо выделить основные принципы, цели и функции:

- определение требований к содержанию информации и ее характеру в зависимости от применения;

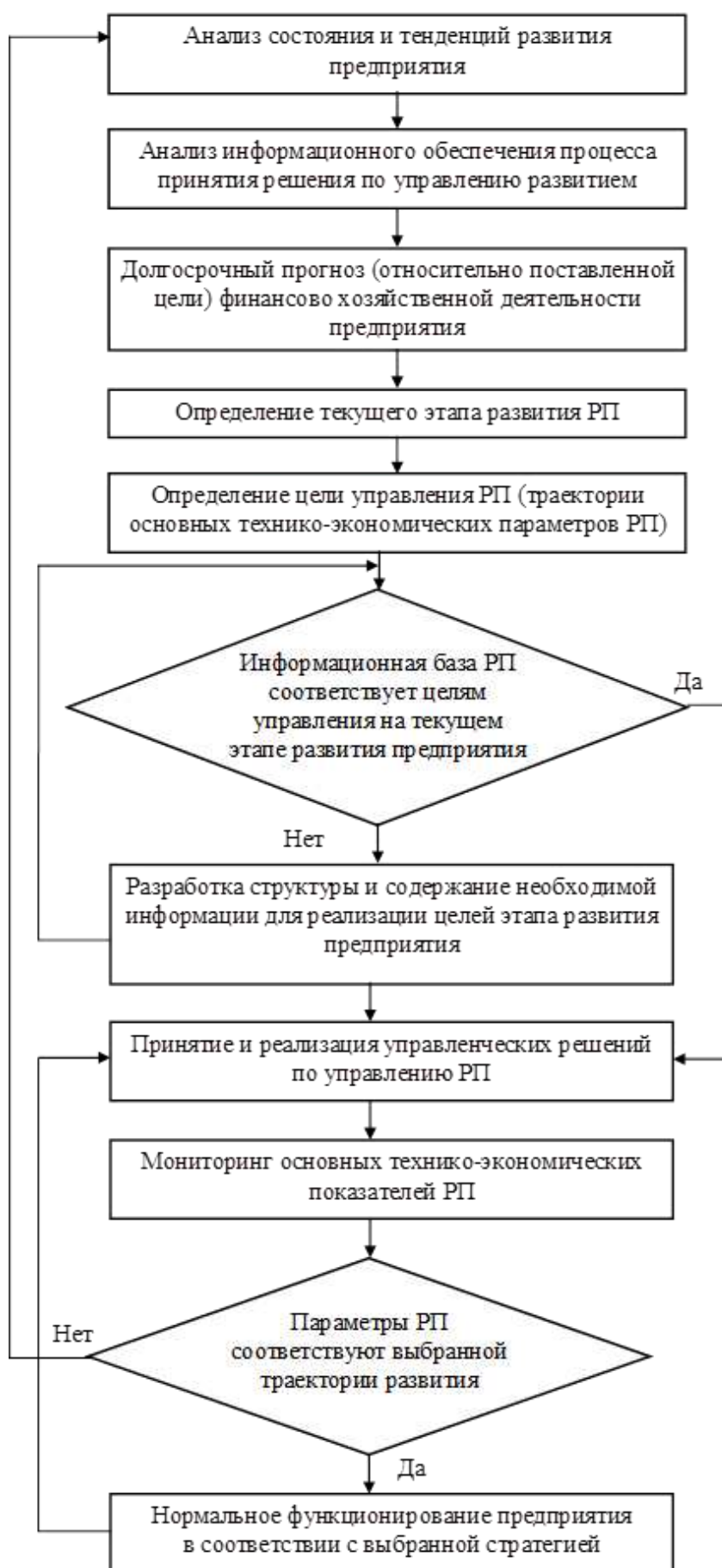


Рисунок 1 - Алгоритм информационного обеспечения ремонтного производства

- проведение многовариантных расчетов в процессе планирования, контроля, сбора и обработки цифровой информации о состоянии горной техники;

- определение основных направлений развития технологий ремонта;
- планирование всех затрат на приобретение, аренду технических средств по обеспечению бесперебойного функционирования производства;
- определение потребности каждого руководителя структурного подразделения (цеха, участка, бригады) в характере и содержании необходимой ему информации для оперативного управления трудовым процессом.

В связи с тем, что потребность в информации (технологической, подготавливаемой, временной, стоимостной и квалификационной) и в оперативных документах для механиков различных уровней управления и исполнения разная, то определены задачи, решаемые по иерархии производства для принятия управленческих и исполнительских решений. Все задачи связаны по функциональному признаку и разделены на 4 группы:

- задачи, реализующие функцию планирования и производства;
- задачи, реализующие функцию учета и анализа;
- задачи, отражающие экономические показатели;
- задачи, отражающие движение материальных ценностей (ЗИП), персонала (квалификация, наличие) [2].

Блок-схема задач, программно-технологического комплекса, решаемых в ремонтном производстве представлена на рисунке 2.

Информационная система должна быть сформирована таким образом, чтобы ее функциональность полностью соответствовала задачам той структуры, которую она призвана обеспечивать качественной, достоверной и, что немаловажно, «скорострельной» информацией.

Остановимся более подробно на некоторых решаемых задачах.

Задачи планирования:

- обеспечение оптимальных сроков планирования ремонтного обслуживания;
- наличие запасных частей, материалов и приспособлений (ЗИП);
- обеспечение рабочей силой (с учетом квалификации);
- финансовое обеспечение.

Задачи контроля:

- контроль графиков постановки техники в ремонт и выдачи отремонтированной;
- контроль выполнения графиков ремонтов;
- контроль качества условий эксплуатации техники после ремонтного обслуживания, что немаловажно.

Задачи учета:

- разработка наряд-графиков исполнения ремонтного обслуживания;
- корректировка программ ремонтного обслуживания, норм расхода ЗИП, трудозатрат, наряд-заданий.

Задачи анализа:

- анализ состава эксплуатируемой техники, его технических и эксплуатационных характеристик и параметров; надежности, причин и времени простоев;
- анализ объемов и качества ремонтного обслуживания, времени выполнения ремонтных работ;
- анализ расхода запасных частей и материалов;
- анализ эффективности организации ремонтного обслуживания.

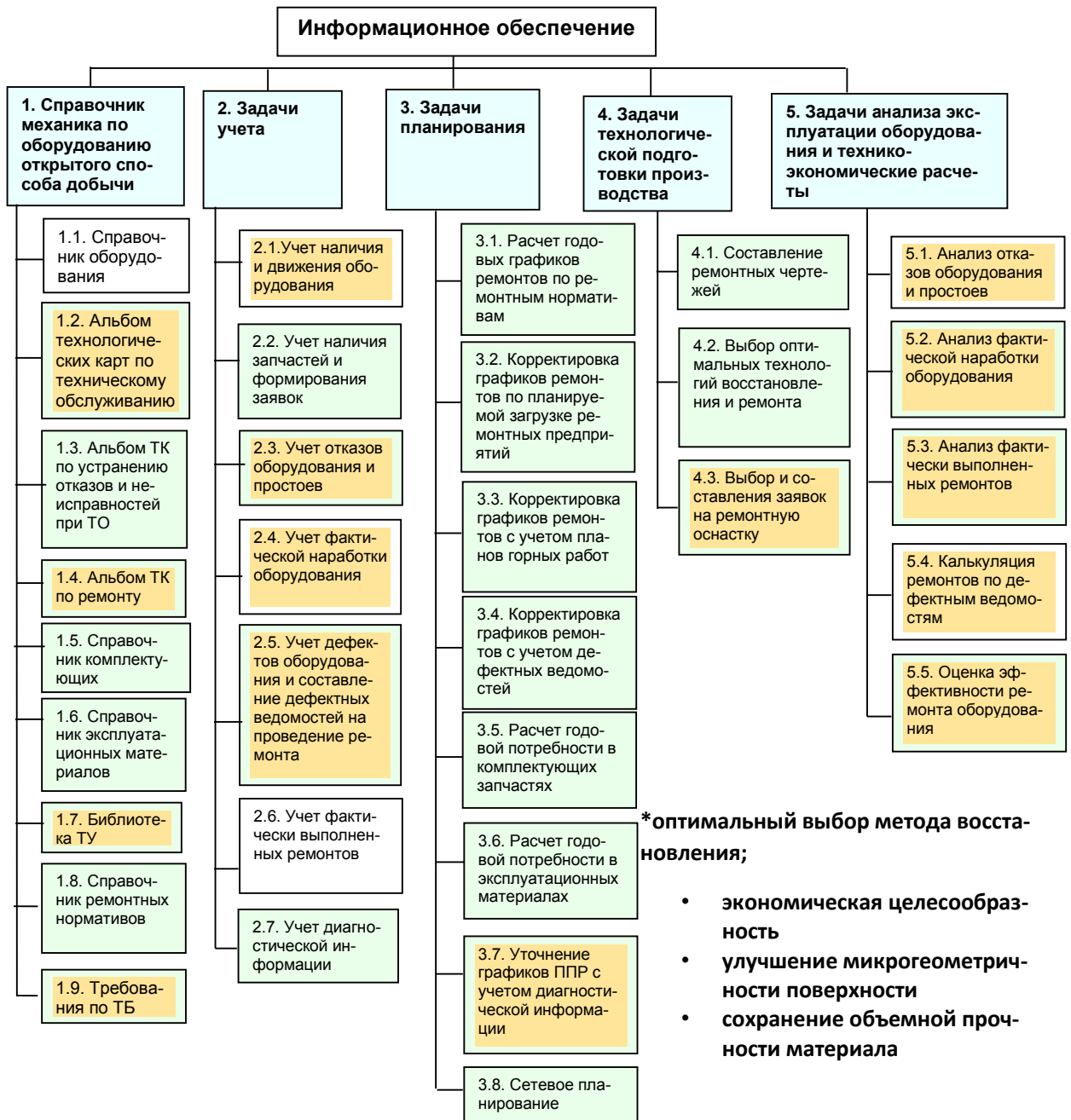


Рисунок 2 - Блок-схема задач программно-технологического комплекса

Важную роль в использовании информации играют способы ее регистрации, обработки, накопления и передачи в требуемой форме [4,5].

Прогресс в области компьютерных технологий на ряде угольных и железорудных предприятий позволил осуществить непосредственную связь с объектами горнотранспортного оборудования.

Например, на разрезе «Черниговец» была внедрена автоматизированная система диспетчеризации автосамосвалов - «КАРЬЕР». В ходе поэтапного внедрения системы бортовыми комплектами оборудования были оснащены 30 автосамосвалов БелАЗ-7512 и 2 автосамосвала БелАЗ-75131 и введен в эксплуатацию диспетчерский центр. Система «КАРЬЕР» была разработана с целью повышения оперативного управления работой большегрузных самосвалов за счет непрерывного обеспечения диспетчерского и управленческого персонала полной информацией о текущем положении и техническом состоянии машин, оснащенных бортовыми комплектами оборудования и находящихся в зоне работы; о количестве сделанных рейсов, перевезенной массе грузов; о расходе топлива и др. характеристиках работы транспортных средств, а также увеличения достоверности и повышения оперативности учета и контроля работы персонала и оборудования.

Ввод в эксплуатацию системы диспетчеризации «КАРЬЕР» на разрезе «Черниговец» производился поэтапно, по мере оснащения самосвалов бортовым комплектом оборудования, ввода в строй радио- и диспетчерского центра, а также обучения персонала и приобретения им навыков работы с автоматизированной системой управления автотранспортом.

С целью ускорения подготовки и обеспечения качества технического обслуживания и ремонта разработана информационно-компьютерная система, которая полностью ориентирована на нужды энергомеханической службы предприятия. Она менее дорогостоящая, чем зарубежные аналоги, содержит элементы сервиса, позволяющие комфортно работать в программе, полностью подключается в существующую на предприятии компьютерную сеть (или работает автономно), обеспечивает необходимой информацией все уровни управления процессом ремонта горного оборудования, имеет короткий срок адаптации в условиях производства.

Разработанная система информационно-компьютерного обеспечения (ИКО) представляет собой ряд взаимосвязанных между собой программ, позволяющих решать сложные организационно-технические вопросы подготовки и проведения ремонта горной техники.

В частности, вопросы, связанные с методами контроля технического состояния горной техники позволяют выявить причины развития дефектов, установить их местонахождение, снять информацию, произвести ее анализ и принять в короткие сроки соответствующее решение.

Одной из основных решаемых на предприятии задач программно-технологического комплекса является задача профилактики отказов горной техники (рис.3).

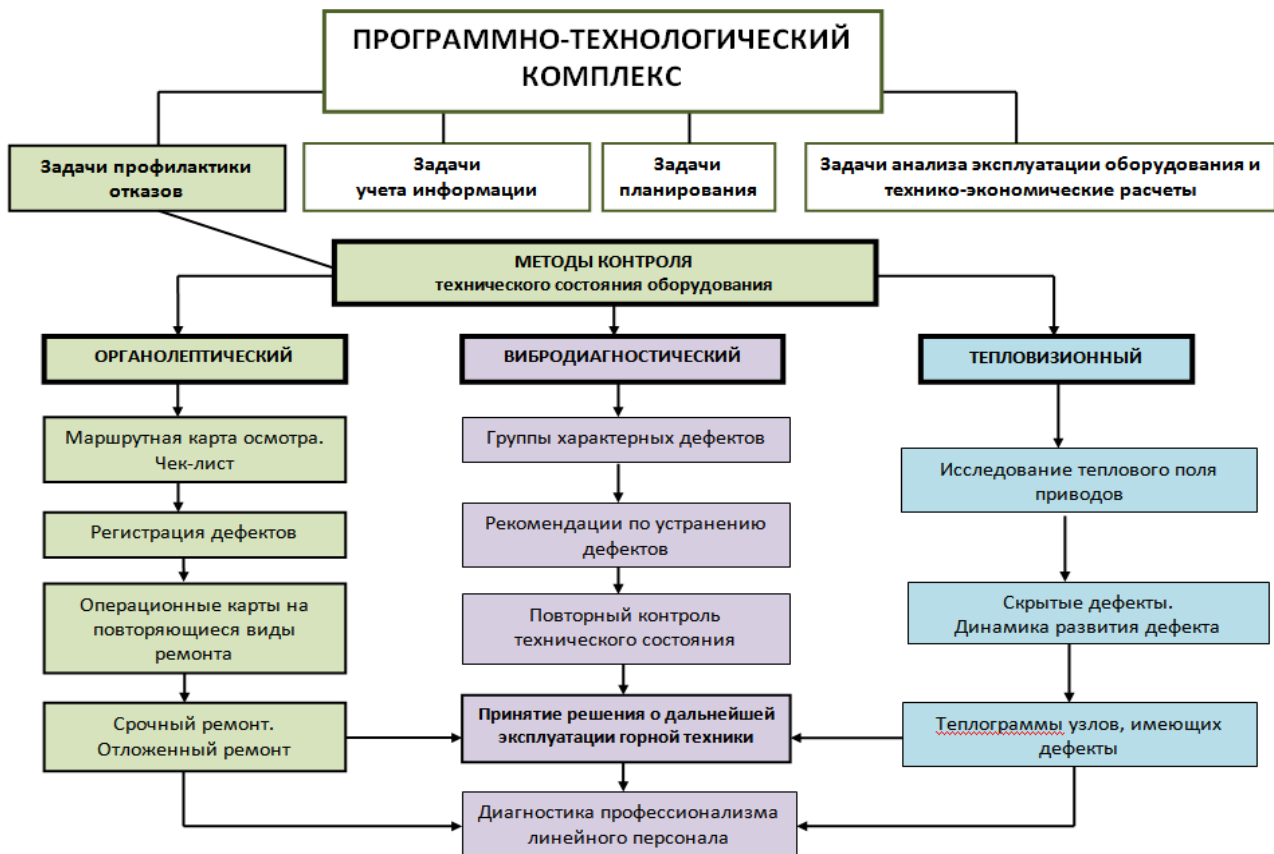


Рисунок 3 - Программно-технологический комплекс оценки технического состояния горной техники

Разработка программно-технологических комплексов на основе базы данных о состоянии оборудования, регламенте и порядке выполнения операций, нормах времени и расхода ресурсов, необходимой квалификации персонала и его оснащенности средствами механизации позволяет сформировать единую информационную сеть для эффективной работы не только ремонтного производства, но и горнодобывающего предприятия в целом.

Список литературы

1. Андреева Л.И. Стандартизация рабочих процессов как метод обеспечения эффективного использования резервов горнодобывающего предприятия // «Проблемы недропользования» / 2015. С.142-147.
2. Андреева Л.И. Методология формирования технического сервиса горно-транспортного оборудования на угледобывающем предприятии: дисс. докт. техн. наук. / Л.И. Андреева. – Екатеринбург, 2004. 297 с.
3. Андреева, Л.И. и др. Направления развития системы производственной и технической эксплуатации горнодобывающего предприятия /Л.И. Андреева, И.Л. Кравчук, К.О. Хан //Проблемы недропользования: Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала). – М.: Горная книга, 2011. – № ОВ11. –С. 269-275.
4. Банди Б Основы линейного программирования: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1989. – 176 с.
5. Булавский В.А., Звягина Р.А., Яковлева М.А. Численные методы линейного программирования /Под. ред. Л.В. Кантовича. – М.: Наука, 1977. – 367 с.

УДК 622.002.05

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАЗНАЧЕНИЯ БУРОВЫХ СТАНКОВ

Л.И. Андреева¹ гл.науч.сотр., д.т.н., А.В. Панкратов², гл. механик

¹Челябинский филиал Института горного дела УрО РАН, г. Челябинск, Россия

²АО «Ковдорский ГОК», г. Ковдор, Россия

Сделана оценка технического уровня буровой техники и предложены показатели назначения, определяющие область применения и основные функции оборудования. Сделан анализ горно-геологических условий залегания пород и руд с учетом их функционально-химических свойств. Даны рекомендации, позволяющие повысить технический уровень бурового станка. Приведена оценка эксплуатационной надежности буровой техники.

Ключевые слова: показатели назначения, буровая техника, технический уровень, горно-геологические условия, эксплуатационная надежность.

EVALUATION OF INDICATORS FOR THE PURPOSE OF DRILLING RIGS

L.I. Andreeva, A.V. Pankratov

The assessment of the technical level of drilling equipment is made and the indicators of the purpose determining the scope of application and the main functions of the equipment are proposed. The analysis of the mining and geological conditions of the occurrence of rocks and ores, taking into account their functional and chemical properties, is made. Recommendations are given to improve the technical level of the drilling rig. An assessment of the operational reliability of drilling equipment is given.

Keywords: indicators of purpose, drilling equipment, technical level, mining and geological conditions, operational reliability.

Ежегодный рост объемов добычи сырья, ухудшение условий разработки месторождений полезных ископаемых, увеличение крепости разрабатываемых пород и руд, их абразивности и обводненности настоятельно выдвигают вопросы создания мощного, высокопроизводительного, надежного в работе, долговечного горнотранспортного оборудования на одно из важных мест в технологическом процессе. Вместе с этим требуется модернизировать применяемое оборудование, совершенствовать технологию открытой добычи, особенно ведение буровых работ.

Основными направлениями дальнейшего развития буровзрывных работ являются: разработка технологий и технических средств заоткоски уступов методом предварительного щелеобразования, включая создание шарошечного и ударно-вращательного станков для бурения наклонных контурных скважин диаметром 105-160 мм; модернизация шарошечных станков для бурения и расширения вертикальных скважин диаметром 100-400 мм глубиной до 50 м., обеспечивающая повышение производительности в 1,5 – 2,0 раза за счет интенсификации и автоматизации процесса бурения, повышения надежности конструкции, сокращения и механизация вспомогательных операций [1].

Оценка технического уровня оборудования производится по показателям назначения (свойства, определяющие область применения и основные функции оборудования) и надежности в соответствии с методически-

ми указаниями по оценке технического уровня продукции (РД-50-149-79). При выборе показателей назначения используются только самые необходимые из них, характеризующие важнейшие свойства оборудования, например, функциональные – производительность бурового станка.

Оценка показателей назначения

Показатели назначения буровых станков СБШ-250МН и СБШ-320М в основном соответствуют горно-геологическим горнотехническим условиям железорудных карьеров.

Буровой станок СБШ-250МН является лучшим и надежным отечественным серийно выпускаемым станком шарошечного бурения, находится на уровне аналогичных зарубежных станков.

Конструкция станка технологична с широким применением стандартного оборудования. Процент унификации – 80 %. Компоновка станка обеспечивает свободный доступ ко всем механизмам и узлам при их осмотре, эксплуатации и ремонте.

Вибрация в кабине машиниста не превышает санитарных норм. Запыленность и шум незначительно превышает установленные нормы. Принятая на станке система пылеподавления воздушно-водяной смесью значительно снижает загрязнение атмосферы.

Буровой станок СБШ-320М создан на базе серийно выпускаемого станка СБШ-320, и имеет следующие отличительные особенности.

1. Наличие автоматизированной системы управления режимами бурения. Автоматизированная система управления процессом бурения предусмотрена с целью учета изменений свойств буримых пород и соответствующего изменения параметров режима бурения. Система самонастраивается на создание максимально необходимого осевого давления и максимальной частоты вращения, исходя из допустимого уровня вибрации на станке.

2. Наличие автоматической системы горизонтирования.

3. Наличие гусеничного хода, оснащенного приводом с плавно регулируемой скоростью передвижения. Скорость передвижения увеличена до 0,6 км/ч.

4. Механизм подачи имеет увеличенную скорость при спуско-подъемных операциях. Быстроходные лебедки системы подачи обеспечивают скорость спускоподъемных операций до 18 м/мин.

5. Для бурения скважин глубиной до 20 м без наращивания в комплекте станка предусматривается буровой став с невращающимся внешним корпусом, позволяющим применить на станке форсированные режимы по частоте вращения бурового инструмента с целью увеличения скорости бурения с одновременным уменьшением вибрации бурового снаряда и станка в целом.

6. Пылеподавление водой или водной эмульсией, вынесенное из зоны забоя на высоту до 1,5 м (раздельная подача воды и воздуха в буро-

вом стае), создает условия увеличения долговечности шарошечного долота и способствует увеличению скорости бурения.

7. Кабина машиниста защищена от шума и вибрации и оборудована кондиционером, что обеспечивает улучшение условий труда буровой бригады.

8. Конструкция механизма развинчивания обеспечивает возможность управления операциями наращивания и разборки бурового става из кабины машиниста.

9. Непосредственно на станке размещен высоковольтный понижающий трансформатор. Размещение на станке трансформатора сухого типа позволяет:

а) освободиться от КТМ, в результате чего увеличивается маневренность станка;

б) применить для подключения станка к сети более легкий питающий кабель сечения 25 мм², вместо 150 мм²;

с) применить на станке только один кабельный барабан.

Сравнение бурового станка СБШ-250МН с зарубежными аналогами 60R показывает, что по отдельным параметрам (мощность привода вращателя, число оборотов бурового инструмента) станок имеет преимущество. Однако, для зарубежных аналогов характерна большая глубина бурения, повышенное осевое давление на забой, более высокая производительность компрессора, большая скорость передвижения, наличие автоматизированной системы поддержания оптимального режима бурения в зависимости от свойств буримых пород. Это позволяет оценить технический уровень серийно выпускаемого станка СБШ-250МН как несколько более низкий, чем у зарубежных аналогов. В настоящее время на базе станка СБШ-250МН разработаны и созданы новые буровые станки СБШ-250-20, СБШ-250-32. Их технический уровень значительно повышен по сравнению с СБШ-250МН и приближен к уровню лучших мировых образцов [4].

Для повышения технического уровня станка СБШ-250МН рекомендуется осуществить следующие мероприятия:

– применить механизм подачи с использованием лебедок, позволяющий увеличить скорость бурения и спускоподъемных операций за счет повышенной жесткости канатно-полиспастной системы;

– изменить конструкцию механизма развинчивания и сепаратора с целью сокращения количества и времени выполняемых приемов, что снизит затраты времени на вспомогательные операции на 20-25 %;

– увеличить скорость передвижения станка и использовать регулируемый привод хода;

– автоматизировать операцию горизонтирования станка;

– автоматизировать процесс бурения с целью поддержания заданных режимных и вибрационных параметров.

Применение на модернизированном станке более прогрессивных конструктивных решений обеспечит рост его производительности на 28-54

% по сравнению с СБШ-250МН за счет снижения основного и вспомогательного времени бурения, повышения надежности и долговечности узлов и агрегатов станка.

Оценка эксплуатационной надежности

Оценка эксплуатационной надежности буровых станков осуществляется с помощью комплексного показателя – коэффициента готовности. Анализ коэффициента готовности буровых станков на горнодобывающих предприятиях показал, что его значения изменяются в пределах: для СБШ-250МН – $0,73 \div 0,86$, составляя в среднем $0,78$; для 2СБШ-200Н – $0,78 \div 0,8$; СБШ-320 – $0,5 \div 0,78$, в среднем $0,6$.

Такой уровень надежности буровых станков не удовлетворяет предъявляемым к ним требованиям производства. Неудовлетворительное техническое состояние станков, низкая стойкость шарошечных долот повышают длительные аварийные простои оборудования, которые на отдельных предприятиях составляют от 18 до 53 %, от общей продолжительности простоев (рис.1).



Комментарий: износ опорного колеса (ржавчина, наклеп)



Комментарий: отсутствие трех крепежных болтов соединительной муфты



Комментарий: ослабление штилек крепления каркаса станка к поперечным осям

Рис. 1. Результаты оценки технического освидетельствования состояния бурового станка на горнодобывающем предприятии

Анализ значений коэффициента готовности позволяет сделать вывод о том, что его можно повысить за счет конструктивного совершенствования, внедрения улучшенных модификаций узлов и деталей.

Список литературы

1. Андреева Л.И. Методология формирования технического сервиса горнотранспортного оборудования на угледобывающем предприятии: дис. докт. техн. наук / Л.И. Андреева. – Екатеринбург, 2004. – 305 с.
2. Герасимов А.М. студ., Бочков В.С., доц., канд. техн. наук. Опыт конструирования и изготовления переносной буровой установки для бурения скважин с целью добычи воды // А.М. Герасимов, В.С. Бочков / Сборник трудов XVII международной научно-технической конференции «Чтение памяти В.Р. Кубачека». – 2022. – С. 49-52.
3. РД-50-149-79.
4. Гаврилова Л.А. Установление взаимосвязей между конструктивными и режимными параметрами СПК буровых установок // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), №10 – МГТУ. Москва, 2002. – С. 97-103.

УДК 622.68:622.86

МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ С УЧЕТОМ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Л.И. Андреева¹, гл. науч. сотр., д.т.н.

¹Челябинский филиал Института горного дела УрО РАН, г. Челябинск, Россия

Представлен анализ эффективности эксплуатации ленточных конвейеров на горнодобывающих предприятиях. Отмечено, что существенное влияние на работоспособность конвейеров оказывают условия эксплуатации, структура транспортируемой горной массы, климатические условия. Приведен опыт восстановления конвейерных лент методом вулканизации и механическими средствами с учетом мер безопасности проведения технологического процесса.

Ключевые слова: ленточный конвейер, условия эксплуатации, надежность, восстановительный ремонт, вулканизация, стыковка.

METHODS OF BELT CONVEYOR REHABILITATION TAKING INTO ACCOUNT OPERATING CONDITIONS

L.I. Andreeva

The analysis of the efficiency of the operation of belt conveyors at mining enterprises is presented. It is noted that the operating conditions, the structure of the transported rock mass, and climatic conditions have a significant impact on the performance of the conveyors. The experience of restoring conveyor belts by vulcanization and mechanical means, taking into account the safety measures of the technological process, is given.

Keywords: conveyor belt, operating conditions, reliability, restorative repair, vulcanization, docking.

На современных обогатительных фабриках полезное ископаемое (уголь, руда и т.д.) проходит множество технологических переделов, связь между которыми осуществляется средствами внутреннего транспорта, в частности, различными конвейерами – ленточными, скребковыми и т.д.

Выбор транспортирующих устройств, как правило, определяется производительностью, видом и свойствами перемещаемых материалов (крупностью, абразивностью, плотностью, влажностью, слипаемостью, температурой), направлением перемещения (горизонтальным, наклонным, вертикальным), а также специальными условиями, определяемыми характером технологического процесса (степенью измельчения породы, пылеобразованием) [1,2].

В связи с увеличением производительности и длины ленточных конвейеров, применением их для доставки горных пород с твердыми включениями, скальных пород крупностью до 800 мм, горной массы, налипающей или примерзающей к ленте, к конвейерному оборудованию и режимам его эксплуатации предъявляются высокие требования. Вместе с тем на горнодобывающих предприятиях уже накоплен положительный опыт продления срока службы (надежности) компонентов ленточных конвейеров [2,3].

Необходимо отметить, что существенное влияние на надежность конвейерного транспорта оказывают условия эксплуатации. Например, при транспортировании пород с ярко выраженной адгезией горной массы ко-

эффицент технического использования комплекса составляет лишь 0,51...0,7, при этом на долю конвейеров из общего числа аварийных простоев приходится от 40 до 80 %. Основными причинами простоев комплексов являются: ремонт по отказу, время вулканизации конвейерной ленты, децентрированный ее заход на барабан, заштыбовка загрузочных устройств и подконвейерного пространства, неисправности опор, износ и деформация роликов выше допустимого, порывы ленты (рис. 1).



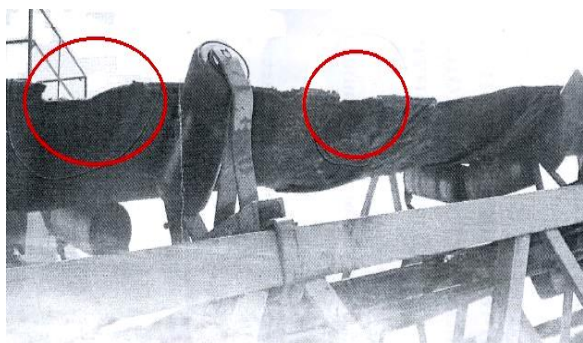
Ленточный конвейер (фабрика №1)

Комментарий: Излом стойки, уход конвейерной ленты влево по ходу движения



Ленточный конвейер (фабрика №2)

Комментарий: Неполное прилегание ленты к роликам (зазор 50-70 мм), латки конвейерной ленты имеют разрывы, потертости, отслоения



Ленточный конвейер (фабрика №3)

Комментарий: Недопустимый прогиб ленты, вырывы, высокий износ латок



Ленточный конвейер (фабрика №4)

Комментарий: Недопустимый износ конвейерных лент по поперечному сечению ($L =$ до 400 мм), расслоение торцов, провисание ленты (недопустимое), многочисленные задиры латок (вырывы боковой поверхности)

Рис. 1. Дефекты ленточных конвейеров

Большая часть времени простоев ленточных конвейеров приходится на разрыв ленты и высокий абразивный износ полотна. Распределение простоев конвейеров по доставке горных пород представлено на рис. 2. В большей части, простои связаны с неточным выбором марок сталей конвейерного оборудования, материалов лент, вида смазки.

Следует особо подчеркнуть, что в условиях низких температур время увеличения параметра потока отказов на ряде горнодобывающих предприятий возрастает существенно. Например, на Михайловском ГОКе число

неплановых простоев конвейерных линий (без навесов), связанных с климатическими условиями, составляет 32...58 % [1].

Особое внимание при доставке крупнокусковых скальных пород и руд следует уделять конструкции загрузочной части конвейера, где лента наиболее активно подвергается ударно-абразивному износу [4].

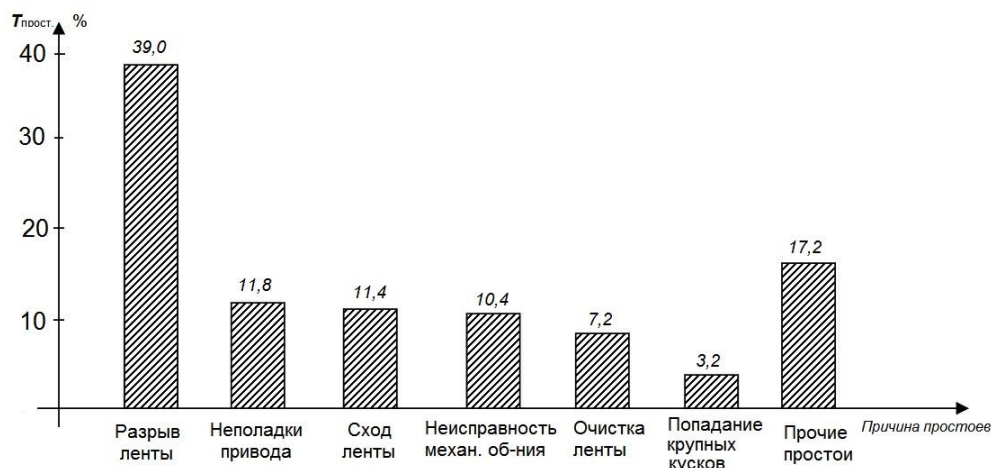


Рис. 2. Распределение простоев ленточных конвейеров

Помимо этого существует опасность попадания вместе с рудой длинномерных предметов, которые могут разрезать ленту на две продольные части. Такими предметами, как показала практика, могут быть доски, бревна, ломы, элементы футеровок дробилок, грохотов, бункеров. Только на Магнитогорском металлургическом комбинате из-за строя около 3000 метров в год при сроке службы лент от 10 до 24 месяцев. [5].

Существенно повысить продолжительность эксплуатации конвейерных лент с учетом условий эксплуатации можно при помощи своевременного восстановительного ремонта, используя при этом специальные резины, клей, различные компоненты и приспособления, позволяющие в более короткие сроки восстановить работоспособность конвейера.

К числу наиболее трудоемких операций по восстановлению конвейера относится монтаж ленты, включающий следующие виды работ: навеску, стягивание, фиксацию, разделку, стыковку. Процесс вулканизации стыка ленты составляет в среднем – 24 часа.

Надежность стыков при ремонте конвейерной ленты во многом зависит от качества разделки концов конвейерной ленты. Стыкуемые поверхности должны иметь определенную шероховатость, чистоту, постоянную толщину при отсутствии неровных срезов, порезов и других повреждений. Все операции производятся вручную на разделочных столах при помощи специальных приспособлений.

Изучение опыта восстановления конвейерных лент показало, что на горнодобывающих предприятиях используют в основном два метода: горячей вулканизации и стыковка механическими средствами. Вторым методом,

в большей части, используют при необходимости быстрой замены поврежденных или изношенных отрезков конвейерной ленты [1,6].

Процесс вулканизации резиновых лент проводился в соответствии с заданным режимом, причем отчет времени вулканизации считался с момента достижения заданной температуры. Увеличение прочности стыка резиновой ленты достигалось путем взаимного перекрытия всех тросов, смежные из которых были расположены с изгибом (рис.3).

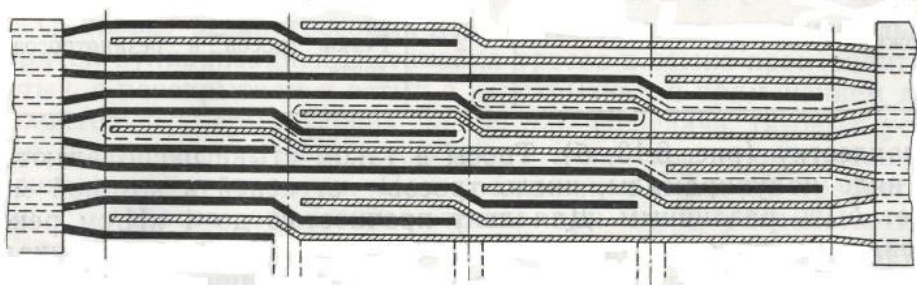


Рис. 3. Схема стыковки резиновой ленты

Стыковка механическими средствами (заклепки, болты) производилась в случае, когда требовалось значительно сократить время восстановления исключительно в производственных целях. При этом допускалось временное снижение прочности стыка. Разрушение таких стыков возникает обычно в местах расположения заклепок (болтов) из-за различия в упругих удлинениях жестких звеньев и ленты (рис.4,5) [7].

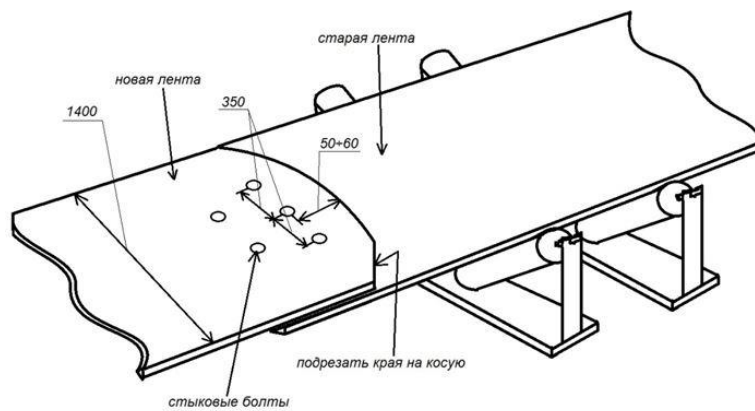


Рис. 4. Стыковка новой и старой ленты на болты



Рис. 5. Варианты соединительных болтов

Для предупреждения аварийного разрыва стыков следует осуществлять профилактический контроль состояния места соединения. Для этого институтом НИИОГР разработаны маршрутные карты (чек-листы), при помощи которых рабочий, следуя определенным маршрутом, отмечает все неполадки и дефекты, требующие немедленного устранения.

Заключение

Надежная работа ленточных конвейеров в условиях развития горно-технических систем возможна только при условии применения качественного вспомогательного оборудования, а именно: загрузочных, очистных и переворачивающих ленту устройств, применения антиадгезионных материалов, уборке просыпей, пылеподавлению, надежной стыковке, контроля целостности и пробуксовки лент. К мероприятиям, предупреждающим разрушение конвейерных лент должно уделяться повышенное внимание: удаление посторонних предметов, контроль внешней и внутренней целостности лент. В основу правил техники безопасности должны быть положены как общие требования безопасности на конвейеры, так и отраслевые, учитывающие все особенности эксплуатации, ремонта и содержания конвейеров при различных климатических условиях и состава окружающей среды.

Список литературы

1. Полунин В.Т. Гуленко Г.Н. Эксплуатация мощных конвейеров // В.Т. Полунин, Г.Н. Гуленко – Москва, «Недра» – 1986. – 346 с.
2. Довлюд И.М., Осиненко А.В. Совершенствования оборудования непрерывного действия для открытых горных работ // И.М. Довлюд, А.В. Осиненко. Горный журнал. – 1983. – №1. – С. 45-46.
3. Припадчев В.Я. Шире развивать прогрессивные виды транспорта // В.Я. Припадчев. Промышленный транспорт. – 1982. – №6. – С. 3.
4. Волотковский В.С. Исследования работы ленточных конвейеров при низкой температуре // В.С. Волотковский. – Промышленный транспорт. – 1980. – №2. – С. 14-15.
5. Фролов В.И., Полунин В.Т., Гуленко Г.Н. Защита конвейерных лент от механических повреждений // В.И. Фролов, В.Т. Полунин, Г.Н. Гуленко. Горный журнал. – 1982. – №6. – С. 44-46.
6. Чикаповский В.А., Шейн Е.А. Эффективность гидрообеспыливания в условиях перегрузочного транспортного узла // В.А. Чикаповский, Е.А. Шейн. – Промышленный транспорт. – 1983. – №12. – С. 11.
7. Иванов В.А., Фещенко А.А. Особенности подходов к техническому обслуживанию и ремонту оборудования в непрерывном производстве // Вестник пермского национального университета. Машиностроение, материаловедение. – 2018. – Том.20. – №3. – С. 82-89.

УДК 622.002.05

МЕХАНИЗМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА ГОРНОЙ ТЕХНИКИ НА ГОРНОДОБЫВАЮЩЕМ ПРЕДПРИЯТИИ

Л.И. Андреева¹, гл. науч. сотр., д.т.н.

¹Челябинский филиал Института горного дела УрО РАН, г. Челябинск, Россия

Рассмотрен и выделен перспективный подход к формированию на горнодобывающем предприятии системы технического сервиса горной техники и оборудования. Представлена принципиальная схема взаимодействия структурных подразделений в формате оказания технической услуги, определен основной критерий предоставления услуги – стоимость одного машино-часа готовности, определены цели, задачи и функции системы технического сервиса. Рекомендована система мониторинга оценки текущего состояния предоставления технической услуги.

Ключевые слова: система технического сервиса, взаимодействие подразделений, стоимость услуги, мониторинг.

MECHANISMS OF FUNCTIONING OF THE SYSTEM OF TECHNICAL SERVICE OF MINING EQUIPMENT AT A MINING ENTERPRISE

L.I. Andreeva

A promising approach to the formation of a system of technical service of mining machinery and equipment at a mining enterprise is considered and highlighted. A schematic diagram of the interaction of structural units in the format of the provision of technical services is presented, the main criterion for the provision of services is defined – the cost of one machine-hour of readiness, the goals, tasks and functions of the technical service system are defined. A system for monitoring the assessment of the current state of the provision of technical services is recommended.

Keywords: technical service system, interaction of departments, cost of service, monitoring.

Переход отечественных предприятий на систему технического сервиса ГТО необходимо начинать с изменения цели, задач, функций, структуры ремонтной службы и взаимодействия ее с другими службами горнодобывающего предприятия.

Переход к требуемому уровню эффективности деятельности технической службы должен осуществляться путем разработки программы. При ее разработке и реализации необходим непрерывный контроль баланса интересов и ответственности собственника, руководителей предприятия, руководителей служб и персонала, осуществляющих преобразования. Источником формирования и развития системы преимущественно должны быть избыточные ресурсы, высвобождаемые из системы ТО и ремонта. Часть этих средств целесообразно направлять на стимулирование персонала и повышение его квалификации, часть – на развитие системы технического сервиса [1].

Концепция технического сервиса ГТО ориентирована на повышение эффективности использования техники и создает условия экономической заинтересованности сторон, участвующих в производстве и реализации товарной продукции (рис.1).

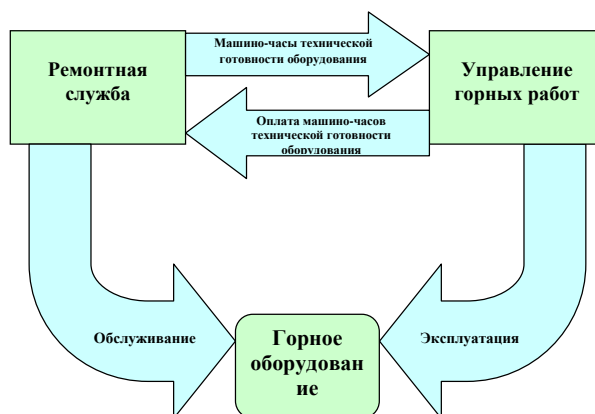


Рис. 1. Принципиальная схема системы технического сервиса ГТО

Основной целью системы ТС является продажа машинно-часа технической готовности оборудования. При организации эффективного функционирования системы технического сервиса необходимо решение задач, соответствующих этой цели. Задачи, в свою очередь, являются целями подразделений ремонтной службы (табл.1).

Таблица 1

Цели, задачи и функции субъектов системы ТС ГТО

Управление горных работ	Ремонтная служба
<i>Цель</i>	
Продажа добываемого продукта	Продажа машинно-часа готовности оборудования
<i>Задача</i>	
добыча необходимого количества полезного ископаемого. эффективное использование ресурсов.	поддержание технического состояния оборудования на уровне, необходимом для обеспечения требуемых объемов добычи. эффективное использование ресурсов.
<i>Функции</i>	
организация работ, позволяющая обеспечить необходимый объем добычи	организация и осуществление обслуживания и ремонта оборудования, позволяющие обеспечить необходимый уровень технической готовности; контроль за условиями эксплуатации оборудования и оценка качества ремонта.

Взаимоотношения производителя технических услуг (ремонтная служба) и их потребителя (управление открытых горных работ) должны основываться на определенных принципах [2]:

- установление экономических отношений между производителем и потребителем услуг на основе заключения договоров на оказание технических услуг;
- определение целесообразности оказания той или иной услуги;
- определение взаимной выгоды для производителя и потребителя услуг;
- осуществление равной и взаимной ответственности за качество предоставляемых услуг (табл.2).

Таблица 2

Ответственность служб

РЕМОНТНАЯ СЛУЖБА	УПРАВЛЕНИЕ
1. Контроль технического состояния оборудования.	1. Контроль условий работы (соблюдение паспорта забоя).
2. Устранение всех возникающих отказов в процессе работы.	2. Прием и оплата машино-часов готовности ГТО, а также оплата аварийных ремонтов, возникших по вине управления (определяется актом взаимной ответственности).
3. Оплата аварийных ремонтов, возникших по вине ремонтной службы (определяется актом взаимной ответственности).	3. Предоставление оборудования для проведения обслуживания или текущего ремонта в соответствии с графиками или его техническим состоянием.
4. Выполнение ТО и ППР в соответствии с согласованными графиками или техническим состоянием оборудования.	

Содержанием основной услуги системы ТС ГТО является предоставление машино-часа технической готовности оборудования к эксплуатации:

$$МЧГ = T_{КФВ} - T_{ремонт} \quad (1)$$

где $T_{КФВ}$ – календарный фонд времени, $T_{КФВ} = 8760$ часов; $T_{рем}$ – время пребывания техники в ремонте, ч.

Цена машино-часа технической готовности определяется по формуле:

$$Ц_{МЧГ} = \frac{E_{факт.затр.ремонт}}{МЧГ_{факт.}} - (4,0 \div 10\%) \quad (2)$$

где E – фактические затраты на ремонт, руб.; $МЧГ_{факт.}$ – фактическая готовность оборудования, маш.-час.

Понятие цели применимо не только к системе в целом, но и составляющим ее элементам. Принципиально важно, чтобы локальные цели отдельных элементов были согласованы с глобальной целью, стоящей перед всем горнодобывающим предприятием [3].

Структура системы ТС должна состоять из следующих элементов (служб) контроля: технического состояния оборудования; ТО и ремонта; материально-технического снабжения; планирования производства.

Все элементы системы ТС ГТО функционально взаимодействуют между собой (рис.2).

Целью руководителя сервисной службы является контроль за предоставлением машино-часа готовности оборудования, задачей, соответственно, координация взаимосвязей между подразделениями службы для более эффективной их работы, в его функции входит управление, контроль и согласование (табл. 3) [4,5].

Эффективность системы ТС необходимо оценивать комплексным критерием, включающим в себя:

- оценку эффективности производства на текущий момент (состояние оборудования, отклонение технологического процесса от нормативных параметров, квалификация персонала, эффективность принятых мер);
- динамику основных показателей, характеризующих техническую готовность парка ГТО.

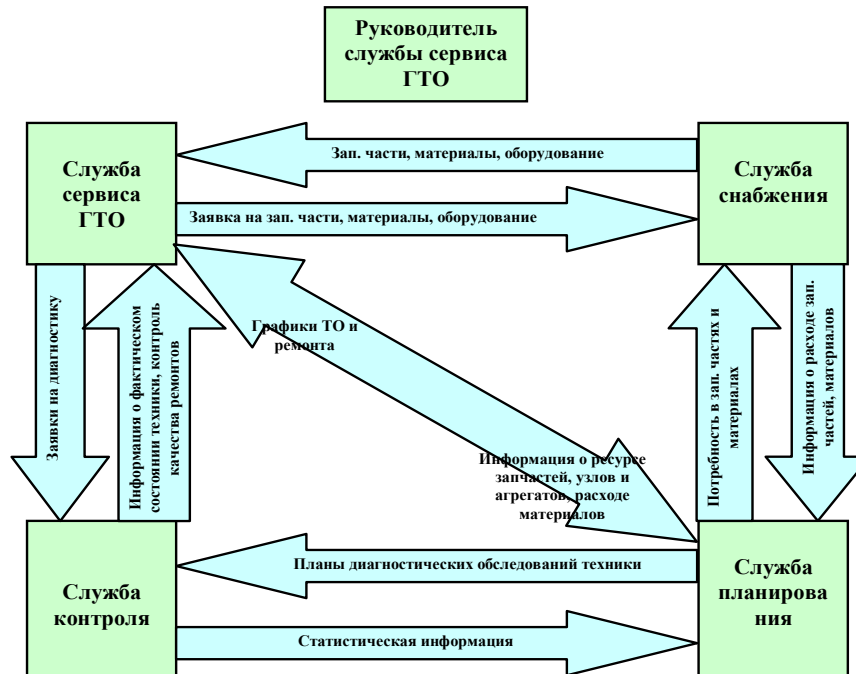


Рис. 2. Схема взаимодействия служб в системе технического сервиса

Таблица 3

Цели, задачи, функции технического сервиса ГТО

Руководитель	Служба ТО и ремонта	Служба диагностики	Служба снабжения	Служба планирования
<i>Цели</i>				
Продажа МЧГ	Устойчивая и эффективная работа оборудования	Повышение эффективности ремонтных воздействий	Эффективное использование ресурсов	Организация ТО и ремонта техники (оптимизация)
<i>Задачи</i>				
Координация взаимосвязей служб	Обеспечение качества ТО и ремонта	Отслеживание фактического состояния техники и корректирование планов ремонтов	Обеспечение высокого уровня коэффициента обрачиваемости ресурсов	Анализ информационной базы по ремонту и диагностике техники
<i>Функции</i>				
управление контроль согласование	профилактическое обслуживание ремонт	плановые диагностические проверки контроль качества ремонта	своевременная закупка ресурсов для обеспечения предстоящих ремонтов входной контроль обеспечение необходимых и достаточных запасов ресурсов на складе	составление оптимальных графиков диагностики, ТО и ремонта нормативы потребности в зап. частях и материалах согласование

Управление системой технического сервиса горнотранспортного оборудования должно базироваться на мониторинге эффективности ее деятельности. Основу мониторинга составляет информационная система, позволяющая формировать своевременную, достоверную и полную информацию о состоянии функционирования системы технического сервиса и ее структурных элементов (рис.3).

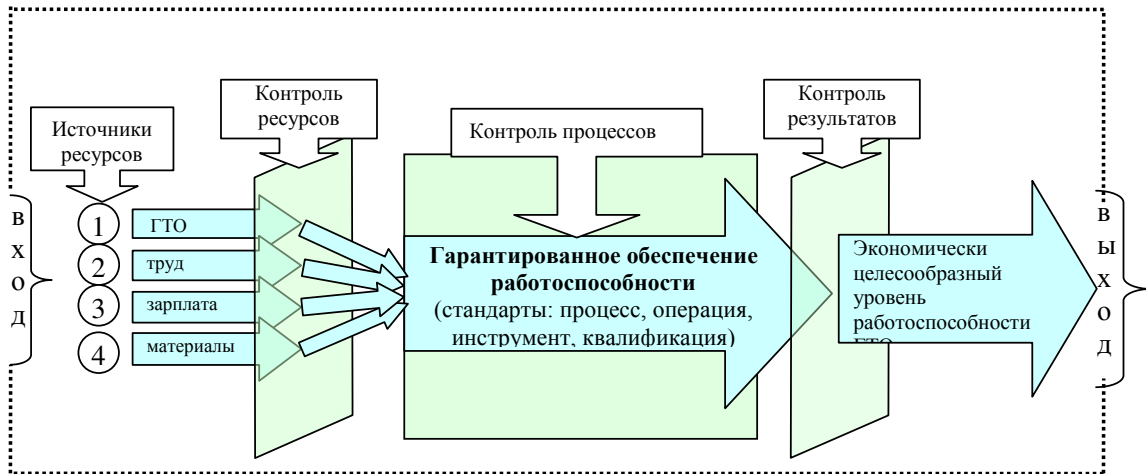


Рис. 3. Система мониторинга

Таким образом, ключевым условием функционирования системы технического сервиса, направленной на обеспечение работоспособности ГТО, является создание условий экономической заинтересованности сторон, участвующих в производстве и реализации продукта. Взаимоотношения «Производителя услуг» (службы сервиса) и «Потребителя услуг» (управление открытых горных работ) должны основываться на определенных принципах: экономической целесообразности, технологичности процессов ТО и ремонта и условий их выполнения, взаимной и равной ответственности сторон, подконтрольности каждого субъекта. Все принципы взаимосвязаны, порядок их сочетания зависит от конкретных обстоятельств. Механизм функционирования системы технического сервиса базируется на договорах и представляет собой содержание и способы (методы) реализации взаимных обязательств «Производителя услуг» и «Потребителя услуг». Алгоритм работы системы ТС основан на заявках и взаимном кредитовании и позволяет переходить от ремонтов по отказам к обеспечению гарантированного ресурса оборудования.

Список литературы

1. Андреева Л.И. Методология формирования технического сервиса горнотранспортного оборудования на угледобывающем предприятии: дис. докт. техн. наук / Л.И. Андреева. – Екатеринбург, 2004. – 297 с.
2. Астахов А.С. Динамические методы оценки эффективности горного производства. – М.: Недра 1982. – 408 с.
3. Лончиновский Э.В. Реорганизация системы технического обслуживания и ремонта оборудования предприятий – М. 2006 г. – 385 с.
4. Ганицкий В.И. Организация управления горным производством. – М.: Недра, 1991. – 363 с.
5. Пикалов В.А. Резервы повышения эффективности угледобывающих предприятий // Горный информационно-аналитический бюллетень / МГУ. – 2002. – №12. – С. 67-69.

УДК 621.879.322

ВЛИЯНИЕ ЭРГАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ТОиР КАРЬЕРНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЭКСКАВАТОРОВ

А.Е. Бессонов, аспирант; Д.А. Шибанов, доц.; А.В. Михайлов, проф.
Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

Рассматривается влияние эргатической системы на долговечность карьерных электрических экскаваторов и, в частности, на систему ТОиР на примере отказов ЭКГ-18Р на Эльгинском месторождении угля, а также представлена необходимость в системе отслеживания действий операторов и возможности данной системы по корректировке ТОиР с учетом эргатической системы.

Ключевые слова: карьерные электрические экскаваторы, рабочее оборудование, система ТОиР, эргатическая система

THE INFLUENCE OF THE ERGATIC SYSTEM ON THE MRO OF QUARRY ELECTRIC EXCAVATORS

A.E. Bessonov, D.A. Shibanov, A.V. Mikhailov

This article examines the influence of the ergatic system on the durability of quarry electric excavators and, in particular, on the MRO system on the example of ECG-18R failures at the Elginsky coal field, and also presents the need for a system for tracking the actions of operators and the possibility of this system to adjust MRO taking into account the ergatic system.

Keywords: quarry electric excavators, working equipment, MRO system, ergatic system

Современные карьерные электрические экскаваторы (ЭКГ) используются в суровых условиях эксплуатации, там, где гидравлические экскаваторы использовать экономически не целесообразно, даже учитывая факт того, что производительность и скорость передвижения гидравлических экскаваторов выше. Отдают предпочтение карьерным электрическим экскаваторам, вследствие высоких показателей надежности относительно конкурентов. Таким образом, свойства долговечности и ремонтпригодности машины, закладываемые на момент ее проектирования, позволяют эксплуатировать оборудование на протяжении 20 лет, а также производить сложные виды ремонта непосредственно на разрезе.

При рассмотрении такого показателя надежности как долговечность нельзя не затронуть и систему технического обслуживания и ремонта (ТОиР) машины. Предпочтительной системой ТОиР для ЭКГ является смешанная система, основанная на планово-предупредительной системе ТОиР, а также ремонт по фактическому состоянию [3]. Существует регламент, в котором прописаны мероприятия технического обслуживания, а также непосредственная оценка состояния наиболее изнашиваемых узлов экскаватора путем неразрушающего контроля, как правило, визуального. На практике же, часто пренебрегают соблюдением регламента при эксплуатации машины, вследствие чего ремонт оборудования производится после отказа всей системы.

Эргатическая система – система взаимодействия человека и машины. При анализе же эксплуатационной части жизненного цикла карьерного

электрического экскаватора, можно выделить как минимум две. Это взаимодействие оператора с оборудованием, а также взаимодействие людей, непосредственно связанных с техническим обслуживанием и ремонтом экскаватора [1]. Вследствие чего, рассматривая ТОиР, в современном мире нельзя не учитывать и эргатическую систему.



Рис. 1. Излом и трещинообразование балок рукояти ЭКГ-18Р

Проводя исследование эргатической системы, а также ее влияние на ТОиР необходимо рассматривать реальные примеры эксплуатации машины. В данной работе нами представлены отказы карьерных электрических экскаваторов ЭКГ-18Р, изготовленных предприятием ООО “ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова”, и эксплуатируемых на Эльгинском месторождении угля. В течение 3-х месячного периода 6 машин были выведены из эксплуатации вследствие образования трещин или излома балки рукояти.

Трещины и изломы находились в идентичных местах на всех машинах, либо на правой, либо на левой балке (рис. 1).

В ходе исследования причин отказов, были проведены расчеты рукояти на напряжения в программном пакете NX, который не выявил очагов повышенной нагрузки в указанных участках, подтверждением этого также служит отсутствие отказа машин из-за излома рукояти в районе оголовков на других месторождениях. Также было установлено, что: на экскаваторах были программно повышены нагрузочные способности рабочего оборудования; нетипичные места изломов рукояти свидетельствуют о недостаточной квалификации операторов [2, 4], действия которых и привели к незапланированным остановам машин. Кроме того, стоит учесть условия эксплуатации, категория материала должна соответствовать эксплуатации при температуре до -60° ; также существует возможность литейного брака оголовков, что могло привести к трещинообразованию и дальнейшему излому металлоконструкций.

Для предотвращения отказов были повышены прочностные характеристики оголовков за счет изменения конструкции, а также технология изготовления изделия. Обозначена необходимость внедрения системы отслеживания действий оператора при эксплуатации экскаватора. В настоящее время разрабатывается система отслеживания нагрузок на приводах рабочего оборудования и интерпретации ее, для возможности анализа действий операторов, приводящих к сокращению срока службы элементов рабочего оборудования экскаватора. Применение системы позволит предупредить непредвиденные остановы и корректировать проведение ТО и Р с учетом анализа эргатической системы.

Список литературы

1. Бессонов А.Е., Шибанов Д.А., Михайлов А.В. Влияние эргатической системы на время рабочего цикла карьерного электрического экскаватора // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2022. – №15. – С. 136-141. <https://doi.org/10.26160/2658-3305-2022-15-136-141>
2. Великанов В.С., Великанова С.С. Исследование связи между коэффициентом управления и квалификацией машиниста экскаватора // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. науч. тр. – Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГГУ». 2009. – С. 24-28.
3. Корогодин А.С., Иванов С.Л. Прогнозирование остаточного ресурса опорных подшипниковых узлов барабанной мельницы для оценки долговечности работы на основе изменения поля температур // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2022. – №17-1. – С. 186-195. <https://doi.org/10.26160/2658-3305-2022-17-186-195>
4. Махно Д.Е., Зельцер П.Я. К методике оценки уровня квалификации машиниста экскаватора // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2011. – № 12. – С. 105-107.

УДК 622.2

АНАЛИЗ ИЗНАШИВАНИЯ ЗУБЬЕВ ЭКСКАВАТОРА ТИПА ЭКГ

В.С. Бочков, доц., **С.В. Ситдикова**, ст. преп., **К.В. Бочкова**, асп.
Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

Проанализирована актуальность поиска решений по повышению износостойкости зубьев ковша экскаватора типа прямая лопата. Рассмотрены причины, влияющие на изнашивание зубьев. Определено, что при работе экскаваторов по породам VIII и IX категорий происходит ударно-абразивное изнашивание внутренней стороны зубьев и абразивное внешней. Доказано, что наклёп стали Гадфильда (материал изготовления зубьев) происходящий при работе зубьев экскаватора по породам VIII и IX категорий снижает скорость ударно-абразивного изнашивания внутренней стороны зубьев и не влияет на абразивное изнашивание внешней.

Ключевые слова: зубья, ковш, сталь Гадфильда, экскаватор, прямая лопата, абразивность, изнашивание, наклёп, термомеханическая обработка, самозатачивание, срок эксплуатации, износостойкость.

ANALYSIS OF THE WEAR OF THE TEETH OF THE EXCAVATOR TYPE EKG

V.S. Bochkov, S.V. Sitdikova, K.V. Bochkova
Ural State Mining University, Ekaterinburg

The urgency of the search for solutions for increasing the wear resistance of bucket teeth of an excavator type direct shovel is analyzed. The reasons for the wear of the teeth are considered. It is determined that when working excavators for rocks of VIII and IX categories, shock-abrasive wear of the inner side of the teeth and abrasive external wear occurs. It has been proved that the cold hardening of Hadfield's steel (the material for making the teeth), which occurs during the work of the excavator teeth in the breeds of VIII and IX categories, reduces the speed of shock abrasive wear on the inner side of the teeth and does not affect the abrasive wear of the outer.

Keywords: teeth, bucket, Hadfield steel, excavator, direct shovel, abrasiveness, wear, cold hardening, thermomechanical treatment, self-sharpening, service life, wear resistance.

Зубья ковшей экскаваторов (рис. 1) являются рабочим органом, непосредственно взаимодействующим с добываемой горной породой. В результате этого взаимодействия с породами VIII и IX категорий [1] зуб изнашивается сравнительно интенсивно. Например, при добыче железной руды на Лебединском ГОКе зубья экскаваторов на отдельных участках изнашиваются через 2-7 суток. При экскавации гранита на ГОК «Семиреченское карьероуправление» комплект зубьев экскаватора ЭКГ-5 изнашивается после добычи 20 тыс. м³ породы, что соответствует 1,5-2 суткам непрерывной работы. При этом замена зубьев у экскаватора является трудоемкой задачей, т.к. масса каждого зуба экскаватора ЭКГ-5 составляет 130 кг. Все эти сведения показывают актуальность и практическую необходимость поиска способов по увеличению срока эксплуатации зубьев экскаватора.

В процессе эксплуатации у зубьев изменяется геометрическая форма. Изменяется угол заострения в сторону его увеличения с 26° до 65-70° (рис. 2). В свою очередь, увеличение угла заострения приводит к значительному увеличению нагрузок на исполнительных органах экскаватора вследствие

увеличения площади контакта зуба с добываемой горной породой. Работа экскаватора при повышенных нагрузках ведёт к быстрому расходованию ресурса деталей экскаватора, в т. ч. и самих зубьев из-за возрастающей скорости их изнашивания.



Рис. 1. Новые зубья на ковше экскаватора ЭКГ-8И

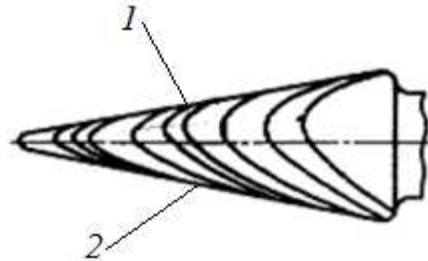


Рис. 2. Характер изменения формы зуба ковша экскаватора в процессе эксплуатации: 1 – внутренняя сторона зуба установленного на ковше экскаватора; 2 – внешняя сторона

На процесс изнашивания и увеличение угла заострения влияют абразивность породы и сила сопротивления породы копанию [8]. Абразивность породы зависит в основном от твёрдости, формы и размеров минеральных зёрен и во многом определяет изнашивание зубьев. Минералы (табл.), некоторые из которых содержатся в породах VIII и IX категорий, добываемых на описанных выше месторождениях, имеют твердости, значительно превышающие твердость стали Гадфильда, используемой для изготовления зубьев экскаватора (180 HV).

Величина прижатия минералов к зубьям зависит от силы сопротивления породы копанию P_{cn} , которая взаимосвязана с характеристиками [8] добываемой породы (в нашем случае рассматриваются породы VIII и IX категорий).

$$P_{cn} = K_F E (H_B K_p)^{-1},$$

где K_F – коэффициент сопротивления породы копанию, кПа (1000-1200 кПа); K_p – коэффициент разрыхления породы (1,2-1,3); E – вместимость ковша, м³ (5 м³); H_B – высота черпания, м (10,3 м).

Таблица– Твердость различных минералов

Материал	Твердость (микротвердость), HV
Кварцит	1100-1130
Кварц	1250
Топаз	1350
Плавленный оксид ZrO ₂	1900
Корунд	2800 (2500-3000)
Карбид кремния	3500
Карбид бора	3700
Алмаз	8000

Соответственно для заданных условий сила сопротивления копанию $P_{сн}$ будет в интервале 405-448 кН. Если отнести найденную величину $P_{сн}$ к площади оставляемых минералами на зубьях экскаватора отпечатков ($\approx 1 \text{ см}^2 = 10^{-4} \text{ м}^2$), то величина удельного давления составит 4050-4480 МПа, которая значительно выше предела прочности стали Гадфильда 800-900 МПа [2], и позволяет минералам оказывать изнашивающее воздействие на зубья.

Для подтверждения теоретических изысканий авторами на ГОК «Семиреченское карьероуправление» были проведены работы по визуальному осмотру зубьев после их работы по граниту с микротвердостью 7950 МПа и замеру твердости различных участков зуба до и после эксплуатации.

В соответствии с результатами осмотра оказалось, что вид поверхностей нижних и верхних частей зуба после работы различен. Если поверхность верхней части зуба гладкая и блестящая с отдельными редкими царапинами (рис. 2, а), то нижней – тёмная и шершавая, вся испещренная глубокими царапинами, параллельными направлению движения зуба (рис. 2, б). Такие виды поверхности характерны для ударно-абразивного и чисто абразивного видов износа, соответственно.

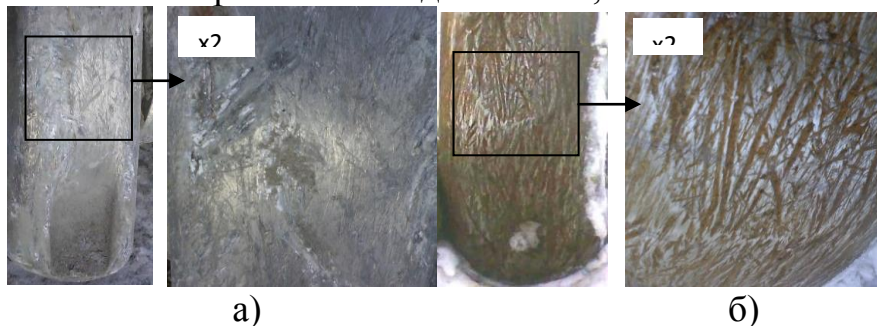


Рис. 2. Общий вид верхней (а) и нижней (б) поверхностей зуба и отдельных их точек

Суммируя результаты теоретических изысканий и визуальных наблюдений с измерениями твердости, можно заключить, что хотя в процессе работы обе стороны зуба подвергаются интенсивному наклепу его наличие на износостойкости верхней и нижней поверхностей зуба сказывается различно: в условиях ударно-абразивного износа, имеющего место на верхней стороне зуба, наклеп существенно замедляет скорость разрушения стали, в случае же абразивного вида износа, наблюдаемого в условиях работы нижней стороны, наличие наклепа на скорости разрушения стали практически не сказывается. При этом не повышает износостойкость стали Гадфильда в случае абразивного износа и то обстоятельство, что трение нижней поверхности зуба о породу сопровождается значительным удельным давлением и ударами.

622:658.562; 622.121; 622.142.1; 622.143.1

ОЦЕНКА КВАЛИФИКАЦИИ ОПЕРАТОРА, КАК ВЛИЯЮЩЕГО ФАКТОРА НА НАДЕЖНОСТЬ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЭКСКАВАТОРА

Д.О. Власов, студент, Д.А. Шибанов, к.т.н., доцент
Санкт-петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, РФ

В современном мире карьерные электрические экскаваторы (ЭКГ) развиваются интенсивным методом – увеличением их единичной мощности, т.е. увеличением объема экскавируемой массы за один цикл работы. Наличие различных моделей и модификаций экскаваторов имеют различный отклик на их надежность при влиянии идентичных факторов эксплуатации, в том числе квалификации машиниста. В рамках одной модели различные факторы эксплуатации оказывают существенное влияние на расходование ресурса машины. Нивелировать или усугубить влияние этих факторов возможно при правильной оценке и дальнейшей корректировке квалификации машиниста экскаватора.

Ключевые слова: карьерный экскаватор, оператор экскаватора, цикл работы экскаватора, оптимизация нагрузок, эффективность эксплуатации.

EVALUATING OPERATOR SKILLS AS A FACTOR INFLUENCING THE RELIABILITY AND PERFORMANCE OF THE EXCAVATOR

D.O. Vlasov, D.A. Shibarov

In the modern world electric surface miners (EBS) are used are developing by intensive method - increase in their unit capacity, i.e. increase in volume of excavated mass for one cycle of work. In turn, different models of excavators have different response on their reliability under the influence of identical factors of operation, including the qualification of the operator. Within the same model, different operating factors have a significant effect on the machine's service life. These factors can be mitigated or exacerbated by a proper assessment and further adjustment of the excavator operator's qualifications.

Keywords: mining excavator, excavator operator, excavator duty cycle, load optimization, operational efficiency.

Вопрос повышения надежности и долговечности горного оборудования является одним из основных, так как большая часть годового фонда рабочего времени экскаваторов, занятых на добыче полезных ископаемых, приходится на простои из-за ремонтов.

Важным аспектом оценки надежности экскаватора является анализ эргатической системы, относящейся к классу сложных динамических систем непрерывного взаимодействия. При условии устоявшихся технологий одним из основных факторов влекущим за собой отказы машины является оператор и его взаимодействие с системой управления. Помимо отказов, действия операторов также напрямую влияют и на производительность машины. Основными показателями эффективности работы экскаватора являются: производительность, зависящая от ряда факторов, и минимальное время рабочего цикла. Даже при заложенной в конструкцию машины базового времени цикла экскавации, фактически оно может, как увеличиваться, так и уменьшаться в зависимости от квалификации оператора и его опыта [2,4,5].

Зафиксированы нарушения правил работы экскаватором, при копании с одновременным поворотом происходит преждевременный выход из строя рабочего оборудования (ковш, подвеска ковша, балка рукояти, седловой подшипник), чрезмерные нагрузки на опорно-поворотное устройство экскаватора (центральную цапфу, роликовый круг, зубчатый венец, вертикально-поворотный вал), при зарезки по «целику», когда горная порода не до конца взорвана, оператор может попытаться «разгрызть» целик, что приводит к режиму удержания в стопорных токах. Двигатель может работать в стопорном токе только краткосрочно, если двигатель находится при стопорных моментах больше чем положено по времени, это приводит к поломкам приводов, разрушению металлоконструкций, отказам электрического оборудования [1,3].

Целью научной работы является создание модели с учетом специфики работы экскаватора как эргатической системы. Нельзя говорить о том, что таких моделей не существует, новизна заключается в подходе.

Идея заключается в том, что предлагаемая модель для интеграции ее в систему информационно-диагностического контроля экскаватора для реализации перманентного контроля над изменяющимися параметрами внешней среды. Модель обрабатывает мгновенные значения тока и напряжений главных приводов: если экскаватор работает с превышением нагрузки, то вносятся корректировки в процесс эксплуатации. Данные корректирующие воздействия могут быть направлены на снижение мощностных параметров привода или уменьшению межремонтных интервалов. Выбор корректирующих мероприятий основывается на оценке риска этих корректирующих мероприятий.

Для реализации заявленной цели, необходимо выполнение следующих задач: получение энергетических характеристик электрического привода; разработать параметрические модели узлов рабочего оборудования; моделировать распределения силовых потоков на рабочем оборудовании при экскавации экскаватора; моделировать забой с вариативными характеристиками; симулировать процесс экскавации с фиксацией нагрузок на элементы рабочего оборудования в процессе копания; выявление закономерности (коэффициентов) на основе анализа характеристик приводов.

В настоящее время получена вольт-амперная характеристика электрического привода экскаватора за цикл работы (Рисунок 1). Ведется работа над определением величины корректирующих коэффициентов.

Работа по моделированию кинематики процесса экскавации, процесса передачи энергии от главных приводов и частичное моделирование забоя выполнены при создании тренажерного комплекса экскаватора ЭЖГ-18Р компании ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова». В основе симулятора лежит математическая модель экскаватора, максимально приближенная к реальной машине, с учетом возможных вариаций типа электропривода и установленного рабочего оборудования. Силы, действующие

на виртуальное рабочее оборудование экскаватора в симуляторе, соответствуют реальным значениям существующей модели экскаватора и характеристикам вынимаемой горной массы [6].

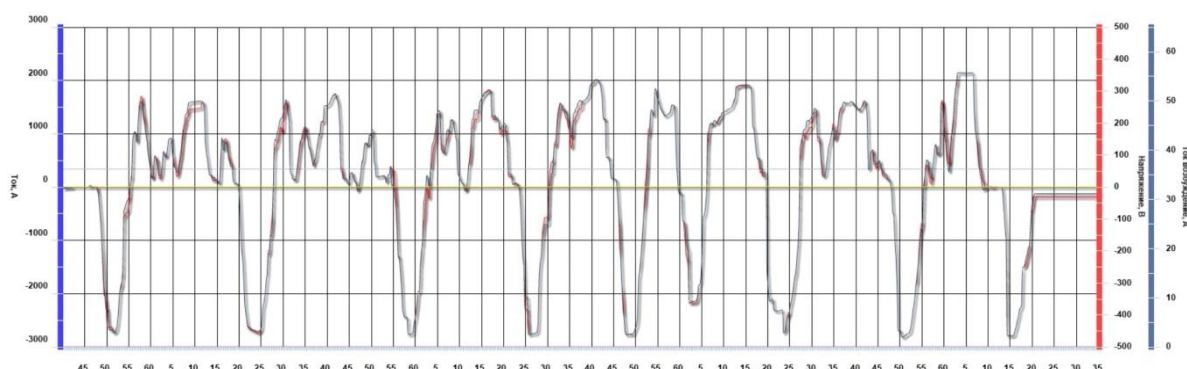


Рисунок 1. Осциллограмма тока привода подъема экскаватора

Результаты работ по тем или иным этапам создания модели карьерного экскаватора необходимо интегрировать в информационно-диагностическую систему машины [7]. Тем самым будет формироваться статистическая база работы, появится возможность управлять жизненным циклом изделия и оптимизировать ТОиР под фактические условия и режимы эксплуатации, даст сервисным подразделениям широкий спектр возможностей для анализа текущего состояния изделия.

Список литературы

1. Оценка режимных параметров главных механизмов экскаватора "Горный" // Комиссаров А.П., Лагунова Ю.А., Шестаков В.С., Лукашук О.А./Горное оборудование и электромеханика. 2019. – № 3 (143). С. 3-8.
2. Konstantin Anistratov. Digging up potential / Konstantin Anistratov, Taras Donchenko, Daniil Shibanov // World Coal. – 2018. – Vol. 27, № 7. –Р. 45-47.
3. Иванов И.Ю., А. П. Комиссаров, Ю.А. Лагунова, Шестаков В. С. Интенсификация процессов экскавации горных пород // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2015.– № 3. – С. 94-100
4. Внедрение цифровых двойников как одно из ключевых направлений цифровизации производства / Н.В. Курганова, М.А. Филин, Д.С. Черняев, А.Г. Шаклеин, Д.Е. Намиот // International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162. – 2019. – Vol. 7, № 5. – Р. 104-109
5. Как цифровые двойники помогают российской промышленности. – Rusbase, 2019. – URL: <https://rb.ru/longread/digital-twin/> (дата обращения: 15.02.2020). — Текст: электронный.
6. Емельянов А.А., Иванов С.Л., Шибанов Д.А. Тренажерный комплекс карьерного экскаватора, как инструмент оценки величины его остаточного ресурса // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов XVI международная научно-техническая конференция «Чтения памяти В.Р. Кубачека», проведенной в рамках Уральской горнопромышленной декады 12-13 апреля 2018 г. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет. – 2018. – С. 378-383.
7. Ганин А.Р., Донченко Т.В., Шибанов Д.А. Современные инженерные решения и практический опыт эксплуатации карьерных экскаваторов ЭКГ-18Р/20К производства «ИЗ-КАРТЭКС» // Горное дело. – 2014. - №1(2). – С. 40-47.

УДК 622.684

ОЦЕНКА СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ НА УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ КУЗБАССА

С. В. Горюнов¹, А. А. Хорешок²

¹ ФГБОУ ВО филиал КузГТУ в г. Прокопьевске, РФ,

² ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»,
г. Кемерово, РФ

В условиях усложняющихся горно-технических условий ведения открытых горных работ на предприятиях Кузбасса на первое место выходит минимизация производственных затрат и бесперебойное обеспечение транспортирования горной массы. На открытых горных работах наиболее эффективным видом транспорта выступает автомобильный. Поддержание карьерных автосамосвалов в работоспособном состоянии и обеспечение максимально высокого коэффициента использования подвижного состава обеспечивается технической службой предприятия и действующей системой технического обслуживания и ремонта. На основании этого проведена оценка действующей системы технического обслуживания и ремонта карьерных автосамосвалов.

Ключевые слова: карьерные автосамосвалы, система технического обслуживания и ремонта, коэффициент технической готовности.

EVALUATION OF THE SYSTEM OF MAINTENANCE AND REPAIR OF MINING DUMP TRUCKS AT THE COAL MINING ENTERPRISES OF KUZBASS

S.V. Goryunov, A.A. Horeshok

In the conditions of increasingly complicated mining and technical conditions for conducting open-pit mining operations at Kuzbass enterprises, minimization of production costs and uninterrupted provision of transportation of rock mass come out in the first place. In open-pit mining, the most effective mode of transport is automobile. Maintenance of dump trucks in working condition and ensuring the highest possible utilization of rolling stock is provided by the technical service of the enterprise and the existing system of maintenance and repair. Based on this, an assessment of the current system of maintenance and repair of quarry dump trucks was carried out.

Keywords: quarry dump trucks, maintenance and repair system, technical readiness coefficient.

Россия является одним из мировых лидеров по производству и экспорту угля, она занимает шестое место по объемам угледобычи после Китая, США, Индии, Австралии и Индонезии (на долю России приходится около 5 % мировой угледобычи) и третье место по экспорту угля после Индонезии и Австралии (на международном рынке на долю России приходится около 15 %). Из угледобывающих регионов самым крупным поставщиком угля является Кузнецкий бассейн – здесь производится более половины (55,0 %) всего добываемого угля в стране и 71,6 % углей коксующихся марок [1, 2].

В Кузбассе работает порядка 50 угольных компаний и предприятий, в их составе 40 шахт и 54 угольных разреза. К крупнейшим игрокам рынка можно отнести УК «Кузбассразрезуголь», АО «СУЭК-Кузбасс», «СДС-Уголь», Распадскую УК, ЗАО «Стройсервис», АО «Кузбасская топливная

компания», «ТалТЭК», ООО «Ресурс». В Кузбассе продолжает действовать тенденция развития открытого способа добычи полезных ископаемых.

Важным условием нормального функционирования горнодобывающих предприятий ведущих добычу открытым способом является высокая производительность и бесперебойность процесса транспортировки горной массы, что обеспечивается повышением технической готовности автопарка с сохранением приемлемых уровней эксплуатационных затрат [3].

Для оценки обеспечения работоспособности карьерных автосамосвалов можно выделить четыре категории факторов (таб. 1). Наибольший интерес по обеспечению работоспособности вызывает действующая система технического обслуживания и ремонта карьерных автосамосвалов.

Таблица 1 – Характеристика факторов влияющих на работоспособность карьерных автосамосвалов

Факторы	Характеристика
Природно-климатические	Параметры окружающей среды (температура, количество осадков, скорость ветра и т.д.)
Горно-геологические и горнотехнические	Изменение параметров рабочих зон Характеристики технологических дорог Тип и параметры перевозимого груза
Организационные	Организация погрузочно-транспортного процесса Режимы движения по транспортным схемам, ритмичность работы
Система организации технического обслуживания и ремонта карьерных автосамосвалов	Наличие и качество нормативной документации и технических регламентов Периодичность и полнота проведения ТО и ремонта Наличие и качество диагностических воздействий Разномарочность и состояние подвижного состава Наличие и состояние ПТБ Квалификация ремонтного персонала Качество запасных частей Материально-техническое обеспечение

Основным показателем оценки работы технической службы в автотранспортном подразделении угледобывающего предприятия как правило служит коэффициент технической готовности, который зависит от принятой системы технического обслуживания и ремонта (ТО и ремонта) карьерных автосамосвалов, производственно-технической базы и материально-технического обеспечения.

По отчетным данным, показатель технической готовности автопарка карьерных автосамосвалов имеет относительно высокие значения, но в тоже время он не отражает потери рабочего времени на проведение сервисного обслуживания, работу шинного комитета, простои под погрузкой, заправку и т.д. (рис. 1).

Вторым показателем оценки является коэффициент использования подвижного состава. Он имеет схожие показатели с коэффициентом технической готовности и в свою очередь также не дает представление о действительной картины на потери рабочего времени, так как подсчет ведется

на основании выданных путевых листов. В целом отсутствует методический подход к оценке фактической и прогнозируемой эффективности системы эксплуатации карьерных автосамосвалов [4].

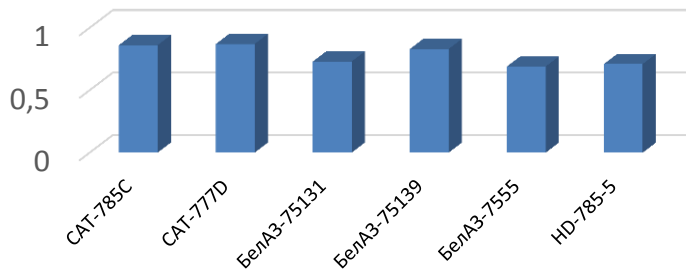


Рис. 1. – Показатель технической готовности автопарка карьерных автосамосвалов

Проведенный анализ сверхнормативных простоев карьерных автосамосвалов позволил установить, что наибольшие простои происходят из-за слабой производственно-технической базы или ее отсутствия и принятой системы технического обслуживания (рис. 2).

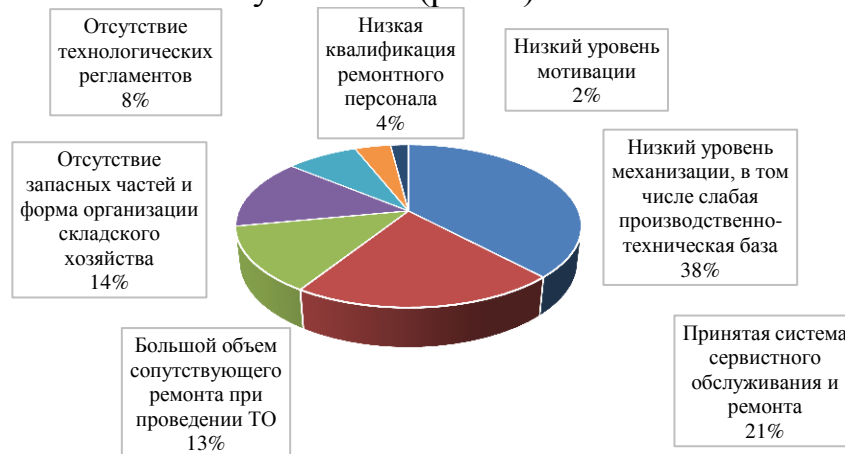


Рис. 2. – Структура сверхнормативных простоев карьерного автотранспорта

В настоящее время наблюдается тенденция по отказу от собственной производственно-технической базы и переходят на систему сервисного обслуживания и ремонта карьерных автосамосвалов. Стоит отметить, что при такой организации, обслуживание проводится на технологической площадке угольного разреза, что в свою очередь ухудшает качество проводимых работ и увеличивает время простоя. Плюс при таком методе организации технического обслуживания и ремонта нарушается принцип технологичности применительно к автосамосвалу в целом. Потери рабочего времени на горнодобывающих предприятиях как правило компенсируется увеличением подвижного состава, что в свою очередь свидетельствует об неэффективном его использовании [5].

В настоящее время для организации технического обслуживания и ремонта карьерного транспорта могут быть использованы следующие документы [6]:

- Положение о техническом обслуживании, диагностировании и ремонте карьерных самосвалов БелАЗ. (Временное. 2003 г.) – Жодино,

2003. – 38 С.

- Положение о планово-предупредительных ремонтах оборудования и транспортных средств на предприятиях цветной металлургии СССР- М: Недра, 1984. – 175 с.

- Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта. Часть вторая (нормативная). Автомобили-самосвалы БелАЗ-7540, -7548, -7525 – Москва, 1985. – 60 с.

- Положение о техническом обслуживании и ремонте карьерных автосамосвалов грузоподъемностью 75 т. и более – М.: Минуглепром СССР, 1991 г. – 87 с.

- Руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию

Большинство рассматриваемых документов на сегодняшний день морально устарели и требуют пересмотра в виду изменяющихся условий эксплуатации и применяемой техники.

Анализ показал, что предприятия как правило используют рекомендации завода изготовителя для разработки производственной программы по ТО и ремонту без учета корректирования пробегов под условия эксплуатации. Сложность организации обслуживания и ремонта вызывает и значительная разномарочность подвижного состава на угледобывающих предприятиях Кузбасса [7]. Ситуацию несколько улучшает созданные лаборатории по испытаниям эксплуатационных материалов, в том числе и работающего моторного и трансмиссионного масла. Это позволяет корректировать периодичность проведения технического обслуживания, в среднем происходит сокращение до 18%. Диагностика отдельных систем и агрегатов как правило проводится сервисными предприятиями.

Рекомендуемая система планово-предупредительного ремонта на горнодобывающих предприятиях как правило заменяется проведением технического обслуживания, что также снижает надежность транспортных средств. Все выше сказанное приводит к аварийным простоям. Проведенный анализ позволил установить распределение причин аварийных простоев (рис. 3).

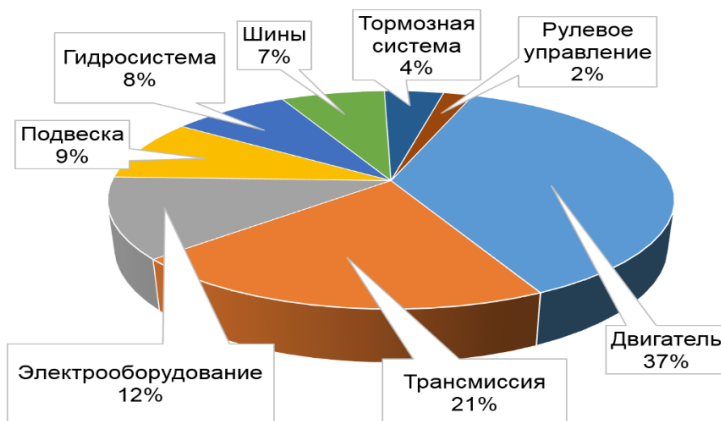


Рис. 3. – Аварийные простои карьерных автосамосвалов

Отдельной проблемой стоит принятая система материально-технического обеспечения системы ремонта, так как на большинстве предприятий была принята система «работа с колес», т.е. приобретение запасных частей и материалов, отправка на капитальный ремонт производится по заявке.оборотный фонд запасных частей и агрегатов на предприятиях отсутствует.

Оценка системы технического обслуживания и ремонта карьерных автосамосвалов позволила сделать следующие выводы:

- принятые показатели работы карьерного транспорта не дают представления о его эффективном использовании;
- недостаточная обеспеченность системы ТО и ремонта нормативной и регламентной документацией;
- применяемые методы диагностики не позволяют оценить техническое состояние автосамосвала в целом;
- действующая система ТО и ремонта на предприятиях снижает надежность карьерных автосамосвалов;
- существенная разномарочность подвижного состава на горнодобывающих предприятиях усложняют организацию проведения ТО и ремонта;
- большинство проведенных исследований надежности карьерных автосамосвалов рассматривают проблему по отдельным ее составляющим.

Список литературы

1. Тарзанов, И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь–декабрь 2019 года / И.Г. Тарзанов, Д.А. Губанов // Уголь. 2020 № 3 С. 54–69.
2. Петренко И.Е. Итоги работы угольной промышленности России за 2021 год // Уголь. 2022 № 3 С. 9–23.
3. Горюнов С.В. Разработка методики прогнозирования долговечности крупногабаритных шин карьерных автосамосвалов: дис. канд. тех. наук: 05.05.06 / Горюнов Сергей Викторович. – Кемерово, 2021 г. – 139 с.
4. Хажиев В.А. Методический подход к оценке эффективности системы эксплуатации оборудования технологического комплекса горного предприятия // Горное оборудование и электромеханика. 2022. № 2 (160). С. 14-21.
5. Ушаков Ю.Ю. Обоснование параметров системы технического обслуживания и ремонта карьерных автосамосвалов: дис. канд. тех. наук: 05.05.06 / Ушаков Юрий Юрьевич. – Екатеринбург, 2016 г. – 124 с.
6. Зырянов И.В., Шмидт А.В. Норматив на капитальный и текущий ремонт карьерных автосамосвалов в АК "АЛРОСА" // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. № 1. С. 393-400.
7. Кузин Е.Г., Пудов Е.Ю., Дубинкин Д.М. Анализ отказов узлов карьерных самосвалов в условиях эксплуатации // Горное оборудование и электромеханика. 2021. № 2 (154). С. 55-61.

УДК 622.331.002.5

МОБИЛЬНАЯ РЕМОНТНАЯ МАСТЕРСКАЯ ДЛЯ ТОРФОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

А.М. Гусева, А.Л. Яблонев

Тверской государственной технической университет, г. Тверь, Россия

Современные тенденции эксплуатации технологических машин и оборудования диктуют требования по обеспечению качества работы агрегатов, которое обеспечивается в том числе оперативным обслуживанием и ремонтом. Предлагается компоновочное решение мобильной автономной мастерской для своевременного и оперативного предупреждения и устранения отказов техники, а также проведение ремонтных работ на месте базирования агрегатов на технологических площадках.

Ключевые слова: торф, технологические машины и оборудование, эксплуатация, обслуживание, ремонт, надежность.

MOBILE REPAIR SHOP FOR PEAT EXTRACTION COMPANIES

A.M. Guseva, A.L. Yablonev

Modern trends in the operation of technological machines and equipment dictate the requirements for ensuring the quality of units operation, which is ensured, among other things, by prompt maintenance and repair. A layout solution of a mobile autonomous workshop for timely and prompt prevention and elimination of equipment failures as well as for carrying out repair works at the place of units basing on technological platforms is offered.

Keywords: peat, technological machines and equipment, operation, maintenance, repair, reliability.

При эксплуатации и обслуживании технологических машин и оборудования для добычи торфа очень остро стоит вопрос своевременного и оперативного предупреждения и устранения отказов техники, а также проведение ремонтных работ на месте базирования агрегатов на технологических площадках с исключением транспортирования к месту ремонта [1]. При проектировании машин и оборудования для добычи торфа необходимо предусматривать вопросы повышения мобильности техники, обеспечение автономности, а следовательно снижения эксплуатационных расходов [1, 2]. Существующие технологии добычи торфа предполагают большие технологические площади, до нескольких сот гектар, и поэтому необходимо проработать вопросы сокращения времени и расходов на транспортирование агрегатов до ремонтных баз [2, 3].

Для решения вопроса предлагается конструкция мобильной ремонтной мастерской на базе тягового трактора.

Актуальность решаемого вопроса обоснована необходимостью снижения эксплуатационных расходов при добыче торфа на основании проработки мобильного прицепного агрегата, решающего задачи оперативного ремонта и восстановления деталей [4].

Мобильная ремонтная мастерская (рис.1), прицепная к гусеничному трактору, содержит фургон на рамном шасси с технологическим оборудованием. Рамное шасси фургона выполнено гусеничным, при этом в фургоне установлен стационарный электрогенератор с возможностью его со-

единения с валом отбора мощности базового транспортного средства через карданно-телескопический вал с помощью карданных шарниров неравных угловых скоростей, а стационарный электрогенератор через провода соединен с технологическим оборудованием.

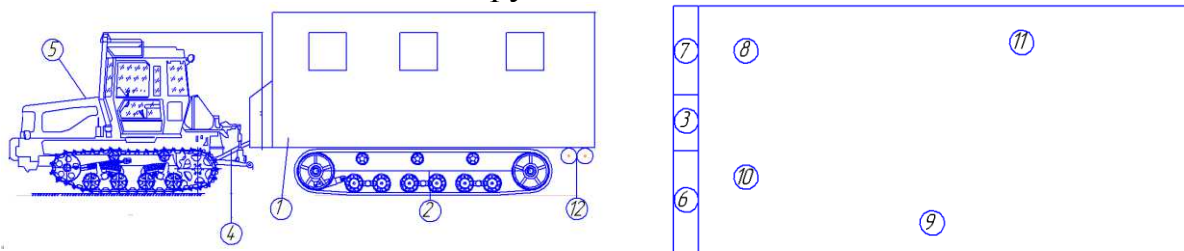


Рис. 1. Мобильная ремонтная мастерская (а- вид сбоку, б- вид сверху фургона с размещенным технологическим оборудованием):

- 1- фургон, 2- рамное шасси, 3-стационарный электрогенератор, 4- вал отбора мощности, 5- гусеничный трактор, бензогенератор 6, 7-стационарный электросварочный аппарат, 8- сверлильный станок, 9- наждачный станок, 10- фрезерный станок, 11- верстак, 12- баллон с горючим газом и кислородом.

В фургоне установлены мобильный бензогенератор, переносной электросварочный аппарат, сверлильный станок, наждачный станок, фрезерный и сверлильный станки, верстак с закрепленными на нем слесарными тисками, баллон с горючим газом и кислородом.

Выполнение рамного шасси фургона гусеничным позволяет повысить опорную проходимость, обеспечить доставку оборудования на отдаленные и труднодоступные участки торфодобывающих предприятий. Жесткий металлический гусеничный ход на жесткой подвеске не позволяет развиваться резонансным колебаниям при работе технологического оборудования.

Карданно-телескопическая передача с карданными шарнирами неравных угловых скоростей обеспечивает возможность передачи крутящего момента от вала отбора мощности трактора к электрогенератору под разными углами. Это свойство необходимо при работе вала отбора мощности во время движения и в условиях ограниченного пространства.

Освещение рабочих мест в мобильной ремонтной мастерской осуществляют в дежурном и рабочем режиме. Дежурное освещение обеспечивается бортовой сетью трактора-тягача, рабочее освещение и питание станков и электроинструмента обеспечивается генератором, приводимым в действие от вала отбора мощности или автономным бензогенератором.

Электросварочное оборудование размещается внутри кузова-фургона и позволяет вести работу в любых погодных условиях. Освещение внешних рабочих мест осуществляется переносными светильниками. Мобильная ремонтная мастерская комплектуется высококачественными наборами ручного слесарного инструмента, спецодеждой для слесарей-автомехаников, средствами индивидуальной защиты.

Мобильная мастерская может работать в двух режимах: зависимом и автономном. В зависимом режиме при работающем двигателе трактора

включается вал отбора мощности, с которого посредством карданно-телескопической передачи передается на электрогенератор, который начинает вырабатывать электрический ток, поступающий ко всем потребителям - станочному и сварочному оборудованию, после чего все оборудование по необходимости может быть включено в работу. В случае автономной работы электрический ток к оборудованию фургона поступает от бензогенератора.

Установленное в фургоне технологическое оборудование позволит в полевых условиях осуществлять весь спектр ремонтно-механических работ – токарные работы, фрезерные работы, шлифование (затачивание), сверление, электросварку и газорезку. Это позволит своевременно предупредить поломки и отказы, обслуживать и ремонтировать всевозможное оборудование и спецтехнику торфодобывающих предприятий [4].

Необходимость проведения ремонтных работ в полевых условиях возникает достаточно часто из-за крупных габаритов торфодобывающего оборудования. Мобильную ремонтную мастерскую легко доставить на отдаленные и труднодоступные участки торфодобывающих предприятий к месту стоянки технологического оборудования. Непосредственно на месте осуществляют ремонт методами изготовления новых и восстановления изношенных деталей. Таким образом, решается задача оперативного восстановления работоспособности торфяных машин и оборудования на местах технологической дислокации и сокращения времени простоя за счет исключения необходимости транспортировки агрегатов к месту ремонта и обратно.

Список литературы

1. Лазарев А. В., Корчунов С. С., и др. Справочник по торфу. – М.: Недра, 1982. – 760 с.
2. Яблонев А. Л. Эксплуатация и ремонт торфяных машин и оборудования. Учебное пособие. - Тверь: Тверской государственный технический университет, 2018.- 188с.
3. Горлов И.В. Инновационные подходы в системе восстановления работоспособности технологических машин. Монография. - Тверь: Тверской государственный технический университет, 2020.- 188с.
4. Мобильная ремонтная мастерская: пат. RU 183219 U1 Рос. Федерация: В60P 3/14 (2006.01) / Яблонев А.Л., Панов С.В., Гусева А.М.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Тверской государственный технический университет"– № 2018113866; заявл. 16.04.2018; опубл. 13.09.2018, Бюл. № 26. – 7 с.

УДК 621.879

ПРИЧИНЫ, ВОЗДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ХОДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭКСКАВАТОРА

В.В. Макарова¹, аспирант, ст. препод., Ю.А. Лагунова^{1,2}, проф., д.т.н.

¹Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

²Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, РФ

На работоспособность карьерных экскаваторов оказывают влияние внеплановые простои, 37 % которых возникают из-за проблем с обслуживанием гусеничного ходового оборудования. В статье приведены основные отказы и причины разрушений металлоконструкций ходовой тележки карьерного экскаватора и рассматриваются факторы, вызывающие изменение и оказывающие существенное воздействие на техническое состояние карьерного экскаватора. Все это обуславливает необходимость применения тензометрического метода исследования для определения и фиксации напряжений, возникающих в металлоконструкциях гусеничного ходового оборудования.

Ключевые слова: гусеничное ходовое оборудование, отказ, факторы, техническое состояние, методы диагностики, тензометрические испытания.

REASONS AFFECTING THE TECHNICAL CONDITION OF THE EXCAVATOR RUNNING EQUIPMENT

Makarova V. V., Lagunova, YU. A.

The performance of mining excavators is affected by unplanned downtime, 37% of which arise due to problems with the maintenance of tracked undercarriage equipment. The article describes the main failures and causes of destruction of the metal structures of the undercarriage of a mining excavator and possible factors that cause changes and have a significant impact on the technical condition of a mining excavator. All this necessitates the use of the tensometric research method for determining and fixing stresses, including them in the metal structures of tracked undercarriage equipment.

Keywords: tracked undercarriage equipment, failure, factors, technical condition, diagnostic methods, tensometric tests.

подавляющее большинство карьерных экскаваторов размещается на базе гусеничного ходового оборудования. Гусеничное ходовое оборудование обладает высокой устойчивостью (особенно у многогусеничных машин), высокими тягово-сцепными качествами, способностью преодолевать большие уклоны (до 23°), хорошей проходимостью, малыми давлениями на основание, универсальностью [1]. Его недостатки – большая масса (с нижней рамой до 50 % общей массы машины); сложность конструкции и быстрый износ ходовых элементов, относительно невысокая маневренность у многогусеничных машин.

Объект исследования – металлоконструкции ходовой тележки карьерного экскаватора.

Гусеничное оборудование ходовой части воспринимает значительные знакопеременные нагрузки при постоянном воздействии пыли, влаги и грязи. Работа в тяжелых условиях приводит к интенсивному изнашиванию сборочных единиц гусеничного оборудования. На работоспособность карьерных экскаваторов оказывают влияние внеплановые простои,

37 % которых возникают из-за проблем с обслуживанием гусеничного ходового оборудования.

Наибольшему изнашиванию подвергаются проушины и пальцы гусениц, что приводит к увеличению шага гусеничных цепей и к увеличению износа звеньев гусениц и зубьев ведущих колес. В тяжелых условиях работают подшипниковые узлы гусеничного оборудования, и при увеличенном износе уплотнений резко возрастает интенсивность абразивного изнашивания подшипников, изменяются зазоры между элементами подшипниковых узлов и происходит ухудшение нагрузочного режима работы узлов. Неправильное натяжение гусениц оказывает большое влияние на износ гусеничных цепей и на увеличение потерь мощности машины на передвижение. Потери мощности при неправильном натяжении гусениц увеличиваются на 7...9 %. Основными параметрами при диагностировании гусеничного ходового оборудования с учетом возможных изменений технического состояния основных сборочных единиц являются: провисание гусеничной цепи (характеризует натяжение); длина гусеничной цепи (характеризует износ гусеничной цепи); осевой люфт в подшипниковых узлах и проверка герметичности их уплотнений [2].

Хрупкие трещины гусеничной рамы экскаватора развиваются в местах, определяемых резкими переходами сечений, вызывающими повышение концентрации напряжений. На многих экскаваторах трещины наблюдаются по отверстиям 1 и 2 (рис.1) [3] либо в местах истирания рамы провисающей холостой ветвью цепи привода хода 3.

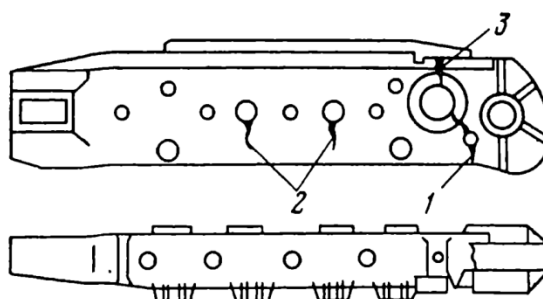


Рис.1. Характер развития хрупких трещин в корпусе гусеничной рамы экскаватора

Согласно исследованиям [4] отказы элементов ходового оборудования (рама гусеничной цепи, направляющие колеса, гусеничная цепь) составляют 20%. В процессе эксплуатации под действием различных взаимосвязанных природно-технических факторов непрерывно ухудшается техническое состояние оборудования. На отказы элементов гусеничного оборудования влияет: неправильная эксплуатация, неправильная регулировка, засорение грязью, перепады температуры, износ.

Факторы, вызывающие изменение и оказывающие существенное воздействие на техническое состояние карьерного экскаватора (появление усталостных трещин и разрушение конструкций) могут быть разделены на следующие группы [5]:

- эксплуатационные факторы;
- конструктивные факторы;
- технические факторы.
- эргономические факторы;

К эксплуатационным факторам относятся: горно-геологические условия: качество подготовки забоя и горной массы, факторы природно-техногенного воздействия и климатические условия: атмосферные осадки, высокие и низкие температуры, солнечная радиация; горно-геологические условия воздействия газов, запыленность воздуха; биологическая среда - плесень, микроорганизмы, насекомые; физико-механические свойства разрабатываемых горных пород. А также стратегии технического обслуживания и ремонта, оказывающие значительное влияние на работоспособность карьерных экскаваторов и их остаточный ресурс.

Важными конструктивными факторами, влияющими на надежность и долговечность экскаватора и его элементов, являются:

1) форма и размер деталей, от которых зависят удельные давления на их поверхности, концентрация напряжений, ударная и усталостная прочность металла;

2) жесткость конструкции, т. е. способность деталей, особенно базовых и основных, незначительно деформироваться под воздействием воспринимаемых ими эксплуатационных нагрузок;

3) точность взаимного расположения поверхностей и осей совместно работающих деталей;

4) правильный выбор посадок, обеспечивающих надежную работу подвижных и неподвижных сопряжений.

Технические факторы – факторы, которые зависят от структуры карьерного экскаватора и его рабочих режимов, применения резервирования, организации контроля и восстановления после отказа, характеристик комплектующих элементов, защищенности элементов от неблагоприятных факторов, качества технологических процессов в процессе изготовления, степени приспособленности для эксплуатации.

Эргономические факторы – это факторы в системе «человек-машина-человек», к которым можно отнести управление экскаватором и организацию ведения экскавационных работ.

Для исследования надежности рабочего оборудования карьерных экскаваторов используются различные методы контроля и диагностики. Тензометрирование является одним из основных экспериментальных методов исследования напряженно-деформированного состояния конструкций при изучении поведения натуральных объектов при наладке, эксплуатации и ремонте, а также лабораторных исследований напряженного состояния конструкций на моделях на стадии проектирования [6].

Задачи тензометрических испытаний - определение и фиксация напряжений, возникающих в металлоконструкциях ходовой тележки.

Цель проведения тензометрических испытаний – это оценка соответствия горных машины условиям и требованиям эксплуатации, определение ресурса до капитального ремонта и накопление данных по надёжности машины и её узлов, уточнение показателей эксплуатационной технологичности и ремонтпригодности. А также определение и уточнение расхода запасных частей, эксплуатационных материалов, стоимости ремонтных воздействий в зависимости от величины наработки и условий эксплуатации [7].

Список литературы

1. Комиссаров А.П., Лагунова Ю.А., Шестаков В.С. Проектирование карьерных экскаваторов. М.: Инновационное машиностроение, - 228 с. (2017).
2. Диагностирование гусеничного ходового оборудования <https://studopedia.info/9-35233.html> (дата обращения 15.02.2023)
3. Махно Д. Е. Эксплуатация и ремонт карьерных экскаваторов в условиях Севера.- М., Недра, 1984.-133с.
4. Баранникова, И. В. Прогнозирование отказов одноковшовых экскаваторов на основе методов искусственного интеллекта / И. В. Баранникова, И. Мажибрада // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № 1. – С. 37-46. – EDN XWLDYV.
5. Иванова, П.В. Выявление закономерностей изменения наработки карьерного электрического экскаватора большой единичной мощности с учетом воздействия факторов природно-техногенного характера: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / Иванова Полина Викторовна. – Спб., 2019. – 134 с.
6. Лагунова, Ю. А. Анализ методов диагностирования состояния металлоконструкций на примере экскаваторостроения / Ю. А. Лагунова, В. В. Макарова, Р. Ш. Набиуллин // Горное оборудование и электромеханика. – 2022. – № 6(164). – С. 17-25. – DOI 10.26730/1816-4528-2022-6-17-25. – EDN ZITCLC.
7. Беляев В.П. Испытания автомобилей. Учебное пособие. — Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2012. — 293 с.

УДК 622.73

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

А.Ю. Микрюков, Е.О. Жуланов

¹Пермский Научно исследовательский политехнический университет г. Пермь

Проведен анализ методик оценки остаточного ресурса. Рассмотрены достоинства и недостатки методик.

Ключевые слова: центробежный насос, остаточный ресурс, методики оценки.

TECHNICAL CONDITION ASSESSMENT METHODS AND RESIDUAL LIFE OF CENTRIFUGAL PUMPS

A.Yu. Mikryukov, E.O. Zhulanov

The analysis of methods of estimation of a residual resource is carried out. Advantages and disadvantages of methods are considered. A method of improving one of the considered methods by introducing coefficients is proposed.

Keywords: centrifugal pump, residual life, evaluation method, tension in a dangerous section.

Широкое распространение насосов центробежного действия во многих отраслях промышленности, в том числе и в нефтегазовой, влечет за собой развитие методик обслуживания, контроля, диагностики и оценки их остаточного ресурса.

В рамках работы были исследованы известные методики оценки остаточного ресурса центробежных насосов. Рассмотрена методика оценки остаточного ресурса по безопасному уровню напряжений, действующих в силовых и основных элементах оборудования. Согласно методике оценки насосных агрегатов по базовым и фактическим характеристикам, прогноз общего технического состояния осуществляется на основании базовых и фактических характеристик насоса, полученных за определенный период и обработанных при помощи методов статистического анализа [2].

Принцип метода заключается в снятии некоторого значения параметров (не менее 21) $Q_j(R_{вх.j}$ или $R_{вых.j}$), по которым подсчитывается среднее значение. Так как при эксплуатации неизбежен износ, принимается, что коэффициент полезного действия изменяется по функциональному закону

$$\eta_{ip} = a_1 + b_2 \tau_i$$

где η_{ip} - расчетные значения относительных значений КПД; a_1, b_2 - коэффициенты, определяемые методом наименьших квадратов; τ_i - величина наработки, час.

Время до выхода НА в ремонт (остаточное время) определяется по формуле:

$$\tau_{\text{остат}} = \frac{\eta_{\text{пред}} - a_1}{b_1} - \tau$$

где $\eta_{\text{пред}}$ - минимально допустимое значение относительного КПД; τ - величина наработки на момент определения, час.

Методика позволяет прогнозировать остаточный ресурс насосных агрегатов по скорости снижения КПД, вследствие износа оборудования.

Согласно методике оценки ресурса центробежных насосов на основе параметра виброскорости, развитие дефектов насоса оценивается по скорости возрастания вибраций на подшипниках от начального до текущего срока эксплуатации [3]:

$$V_{\text{изн}} = \frac{U_{\text{ф}} - U_0}{T_{\text{ф}}}, \text{ мм/с,}$$

где $U_{\text{ф}}$ - фактическое значение вибропараметра подшипников центробежного насоса, т; U_0 - начальное (измеренное при вводе в эксплуатации или являющееся допустимым при монтаже насоса) значение вибропараметра подшипников центробежного насоса, т; $T_{\text{ф}}$ - срок службы (наработка) насоса, годы эксплуатации или проработанные машиночасы.

В соответствии с расчетной скоростью развития дефекта и предельными значениями виброскорости определяется остаточный срок службы (наработка) насоса:

$$T_{\text{ост}} = h \frac{U_{\text{пр}} - U_{\text{ф}}}{V_{\text{изн}}}, \text{ лет,}$$

где h - коэффициент, учитывающий неравномерность скорости изменения вибропараметра, принимается равным $0,6 \div 0,8$; $U_{\text{пр}}$ - значение контролируемого вибропараметра подшипников центробежного насоса, соответствующее предельному состоянию, мм/с;

Рассмотренная методика является наиболее простой и быстрой, позволяет определить остаточный ресурс по минимальному значению параметров. Условия для проведения оценки минимальны. Однако минимум условий приводит к минимуму информативности, что влияет на точность прогноза, снижая его. Для более точного расчета по вибропараметру, необходимо введение дополнительных условий и ограничений. Кроме того, при таком методе оценки остаточного ресурса нет возможности выявления дефектов, нарушений и неисправностей.

Замеры параметра вибрации осуществляются в основном переносным прибором – виброметром или виброанализатором. Перечень применяемых приборов и программного обеспечения представлен в таблице 1.

Система ТИК-RVM предназначена для непрерывного измерения, отображения, контроля, хранения и анализа параметров вибрации и механического состояния технологических и производственных объектов.

Основными преимуществами этой системы являются: непрерывный контроль состояния оборудования; защита по превышению уровня вибра-

ции; получение информации о состоянии оборудования в режиме реального времени; функции анализа спектров, временных сигналов.

Таблица 1. Виброметры (виброанализаторы) и программы обработки данных вибродиагностики

№	Виброметры (виброанализаторы)	Информация о производителе и ПО
1	ВК-5М	ООО «ВиКонт», г. Москва,
2	Виброметр-К1,	Вибро-Центр, Россия, ПО Атлант
3	АТТ-9002	ЗАО НПП «Эликс», Сопутствующее ПО ADLM-W Aktakom Data Logger Monitor ATEE Monitor Aktakom ATE Easy Monitor
4	Vibro Vision,	ООО Производственно-внедренческая фирма «Вибро-Центр», г.Пермь, работа в комплексе с программами Атлант и Аврора 2000
5	Корсар+,	НПП «РОС», ПО Атлант и Аврора 2000
6	Диана-2М,	Вибро-Центр, Россия, ПО Атлант и Аврора 2000
7	Fluke 805	Компания Fluke , Вашингтон, США.
8	АССИСТЕНТ V3,	НТМ-Защита, Россия
9	Камертон	Научно-производственное предприятие «РОС»

Выводы. Каждая из рассмотренных методик имеет достоинства и недостатки и выбор методики обуславливается целесообразностью затрат времени и средств для достижения результата. Контроль вибрации на предприятиях осуществляют для оценки технического состояния динамического оборудования в процессе его эксплуатации. Для этого используются различные специализированные измерительные системы. Цель измерений – своевременное распознавание отклонения состояния динамического оборудования от нормального, что позволяет выполнить корректирующие действия до того, как дефекты в различных частях оборудования приведут к ухудшению качества его работы, сокращению срока службы или отказу.

Список литературы

1. Гришко А.П., Щелоганов В.И. Стационарные машины и установки: Учебное пособие для вузов. — М.: Издательство Московского государственного университета. 2004. – 328 с.
2. РД 39-0147103-324-89. «Методика оценки эксплуатационных параметров насосных агрегатов нефтеперекачивающих станций магистральных нефтепроводов».
3. МУ 07.16 «Методические указания по проведению прогнозирования остаточного ресурса центробежных насосов».4.

УДК 621.879

НЕКОТОРЫЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ПО "СЛАБЫМ ТОЧКАМ" КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

П.А. Побегайло¹ к.т.н.; Д.Ю. Крицкий² инж.; А.П. Побегайло¹ к.т.н., доц.
^{1,3} - Независимый исследователь, Москва, РФ;
² - АО "СУЭК-КРАСНОЯРСК", Красноярск, РФ

Представлены новые данные по "слабым точкам" ряда конструкций экскаваторов драглайнов (ЭШ-10/70А; ЭШ-10/70Б; ЭШ-15/80) и роторных экскаваторов (ЭРШРД-5000 и ЭРП-1600). Выдвинута гипотеза о том, что при выборе "слабых точек" требующих постоянного мониторинга состояния для новых и единичных машин вместо данных по их эксплуатации могут быть использованы данные тензометрических датчиков при натурных испытаниях. Число точек может быть завышенным, но это не представляется критичным и может быть скорректировано по мере эксплуатации машин и при анализе данных натурных экспериментов.

Ключевые слова: драглайн; роторный экскаватор; "слабые точки" конструкции; системы экспресс диагностики состояния экскаваторов; методы неразрушающего контроля

SOME ADDITIONAL DATA ON THE "WEAK POINTS" OF MINING EXCAVATORS

P.A. Pobegailo, D.Yu. Kritckij, A.P. Pobegailo

New data on "weak points" of a number of designs of dragline excavators (ESh-10/70A; ESH-10/70B; ESH-15/80) and bucket-wheel excavators (ERShRD-5000 and ERP-1600) are presented. A hypothesis has been put forward that when choosing "weak points" requiring constant monitoring of the condition for new and single machines, instead of data on their operation, data from strain gauges during full-scale tests can be used. The number of points may be overestimated, but this does not seem to be critical and can be corrected as the machines are used and when analyzing data from field experiments.

Keywords: dragline; rotary excavator; "weak points" of the design; systems for express diagnostics of the state of excavators; non-destructive testing methods

Введение. Рассмотрим несущие металлоконструкции и элементы рабочего оборудования экскаваторов драглайнов ЭШ-10/70А и ЭШ-20/90 (а также - некоторые роторные экскаваторы), используя старое понятие "слабая точка" конструкции, опираясь на современные данные и на материалы советского времени, полученные в отраслевой лаборатории мощных экскаваторов МИСИ им. В.В. Куйбышева Н.Н. Кисилёвым, М.А. Балаховским, А.А. Дёминым, В.П. Тресковым, А.П. Побегайло и др.

Такая работа была выполнена в рамках разработки системы экспресс - диагностики карьерных экскаваторов для выявления мест, требующих постоянного мониторинга в режиме "24/7".

Приведем цитату: " Перед непосредственным расчётом усталостной долговечности элементов конструкции ... необходимо выявить опасные, с точки зрения усталости, детали и отдельные сечения этих деталей, так как они определяют усталостную долговечность ... в целом" [4].

Основной текст.

Наблюдения, выполненные, как силами отраслевой лаборатории мощных экскаваторов МИСИ им. В.В. Куйбышева в СССР, так и нами в

настоящее время, показали, что главными дефектами и отказами ковша с упряжью экскаватора ЭШ-10/70А были и остаются: отрыв тяговых проушин от боковых стенок; отрыв режущей кромки по сварному шву крепления её к днищу; трещины по сварным швам соединения арки ковша; износ поверхности днища в соединении с боковыми стенками; поломка проушин крепления подъемных цепей на коромысле; угол наклона ковша при опрокидывании не обеспечивает качественной разгрузки; налипание грунта на днище ковша [1-3].

При обследовании стрелы ЭШ-10/70А были установлены следующие дефекты:

- при обрыве одной из ветвей подъемного каната происходил поворот траверсы на цапфе, вследствие чего реборды головных блоков задевали за верхние и нижние пояса, выполненные в виде уголков, и оставляли на них вмятины (вплоть до поломки реборд головных блоков);

- трещина на кольцевом шве крепления полумуфты к нижней конусной части вертикальной стойки, установленной на промежуточной секции стрелы;

- трещина на ригеле промежуточной секции с левой стороны в месте соединения с несущим поясом;

- поломка узла рамки с поддерживающими роликами на промежуточной секции стрелы, вследствие возникновения контакта с подъемными канатами;

- отказ поддерживающих роликов на верхней секции стрелы, резиновые ролики быстро изнашивались и выходили из строя;

- на несущем поясе промежуточной секции стрелы в горизонтальных плоскостях выявлены элементы, потерявшие продольную устойчивость;

- окно для каната стрелоподъемной лебедки, идущего на блок неподвижной обоймы стрелоподъемного полиспаста в месте площадки оголовка стрелы, недостаточно и приводит в дефектам каната.

Эксплуатация экскаватора ЭШ-10/70Б показала, что заводской ковш, которым был оборудован драглайн, работал не удовлетворительно, плохо врезался в грунт, медленно разгружался. Из-за этого ковш был модернизирован: тяговые кронштейны были обрезаны и вместо них были установлены тяговые петли. Через четыре месяца работы на арке ковша стали появляться трещины. Для борьбы с ними усилили места соединений режущей части с боковыми стенками и днищем.

При работе на липких грунтах ковш залипал, после опрокидывания при разгрузке в нём оставалось не менее двух кубических метров грунта. Грунт налипал на боковые и задние стенки и днище.

На коромысле упряжи ковша через три месяца после начала работы по сварным швам крепления кронштейнов к распорной балке - коромыслу появились трещины (их заварка не давала положительных результатов). Через два года эксплуатации эти места были усилены, т.к. кроме постоянного образования трещин и сама распорная балка коромысла потеряла

продольную устойчивость. Кроме этого, оказалось, что заводская балансирующая траверса подвески ковша при опускании её на грунт раскрывается. Для исправления этой проблемы на кулаках траверсы были установлены дополнительные фиксаторы.

На обойме разгрузочного блока через полгода работы были также обнаружены трещины (их заварка не дала положительных результатов).

Итак, 70 % всех отказов стрелы экскаватора ЭШ-10/70Б были связаны с поломками рамок и поддерживающих роликов.

Дополнительные повреждения стрелы были связаны с частым обрывом канатов (со срывом роликов и рамок), что частично объясняется неправильной схемой их замены. Наблюдались и обрывы тягового каната, приводившие к повреждению ковша (разрыв ковша по сварному шву крепления челюсти, обрыв тяговой проушины, повреждение боковых стенок).

Ремонт упряжи ковша был связан с восстановлением и заменой звеньев в тяговых и подъемных цепях (40–50 %). Около 10 % отказов упряжи приходилось на обрыв тяговых и подъемных колец, а 5-6 % приходилось на долю отказов коромысла.

Оказывает влияние и повышенная трудоемкость технического обслуживания металлоконструкции стрелы в связи с отсутствием систем неразрушающего контроля.

Поэтому считаем, что именно указанные слабые места и составляют первичное множество точек требующих постоянного контроля для экскаваторов-драглайнов производства НКМЗ.

На рисунках 1-4 представлены рекомендуемые первичные точки контроля для драглайнов ЭШ-15/80 и двух роторных машин: ЭРШРД-5000 (рисунок взят из работы [5]) и ЭРП-1600.

Вместо "слабых" мест известных из опыта эксплуатации, в случае, когда таких данных нет, а машина новая и опытная (единичная), предлагаем использовать данные по натурным экспериментам - например, места расположения тензометрических датчиков на этих конструкциях.

В качестве примера приводим таблицы 1-4, в которых даны значения максимальных напряжений, возникающих в ряде элементов стрелы экскаватора ЭШ-15/80 в процессе экскавации или при осуществлении отдельных режимов процесса экскавации. Из приведенных данных видно, что в процессе экскавации наиболее нагруженной частью стрелы является её первая секция. Поэтому именно точки первой секции стрелы требуют пристального внимания при контроле состояния машины в режиме "24/7".

Заключение. Анализ эксплуатации экскаваторов драглайнов и роторных комплексов позволил сформулировать актуальную проблему, имеющую и научное, и практическое значение.

Несмотря на то, что экскаваторы производства НКМЗ существуют уже более ста лет, и методы неразрушающего контроля (МНК) известны не менее полувека - проблема внедрения МНК, обоснование их выбора или их совокупности для крупных экскаваторов все еще не решена.

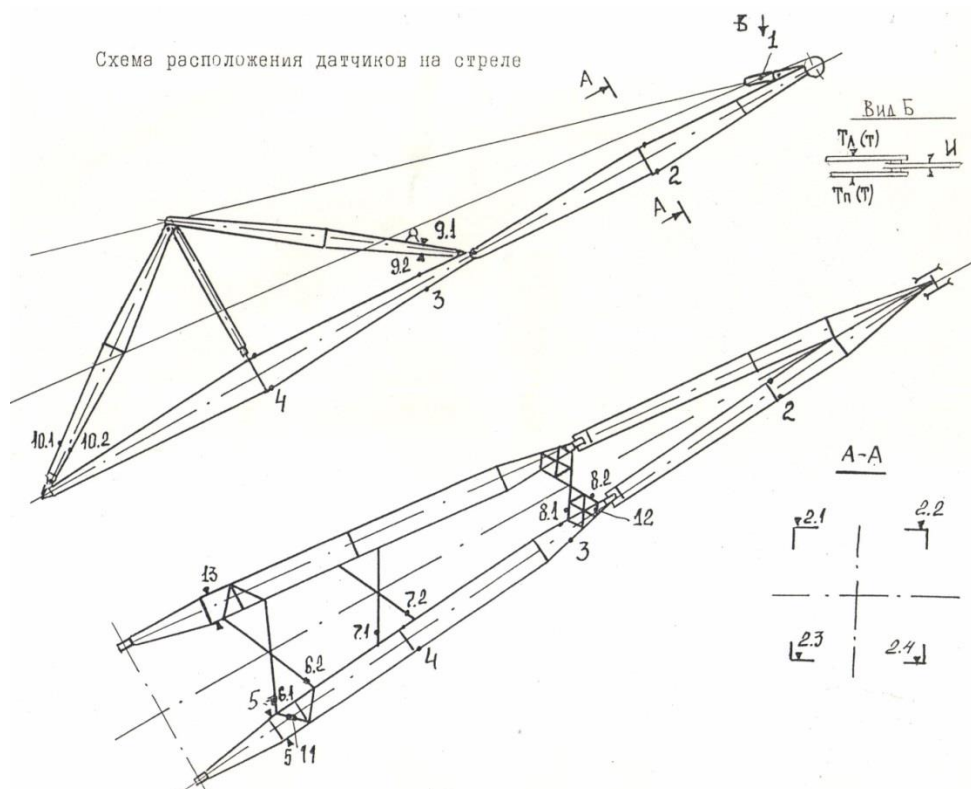


Рис. 1 Схема расположения точек контроля стрелы ЭШ-15/80

Таблица 1

Максимальные напряжения в точках стрелы ЭШ-15/80 при экскавации

Точка	С 13.3	С 13.4	С Т Л.	С Т П.	С ТЯГА	С ИЗГ.
Цикл						
1	81,4	80,5	68,0	56,4	57,4	-22,0
2	86,6	91,0	62,6	50,1	67,9	-23,8
3	84,9	88,4	66,2	54,6	54,8	-20,1
4	104,1	92,8	65,3	52,8	67,9	-22,0
5	98,9	92,8	68,9	56,4	66,1	-22,0
6	98,9	105,0	64,4	52,8	57,4	-22,0
7	105,0	106,8	53,7	43,9	66,1	-22,0
8	90,1	85,8	75,2	57,3	55,7	-20,1
9	90,1	99,8	74,3	56,4	60,0	-20,1
10	91,9	101,5	75,2	57,3	53,9	-20,1
11	109,4	105,0	69,8	52,8	47,8	-18,3
12	87,5	92,8	68,0	51,9	62,6	-20,1
13	97,1	105,0	71,6	54,6	64,4	-17,4
14	112,9	110,3	79,7	61,8	64,4	-19,2
15	79,6	86,6	68,0	51,0	62,6	-20,1
Ср. знач.	94,6	96,3	68,7	54,0	60,6	-20,6
МАХ знач.	112,9	110,3	79,7	61,8	67,9	-20,8
Прим.	Р.	Р.	Р.	Р.	Р.	Р.

Напряжения даны в МПа; + сжатие, минус - растяжение; Р - разгрузка

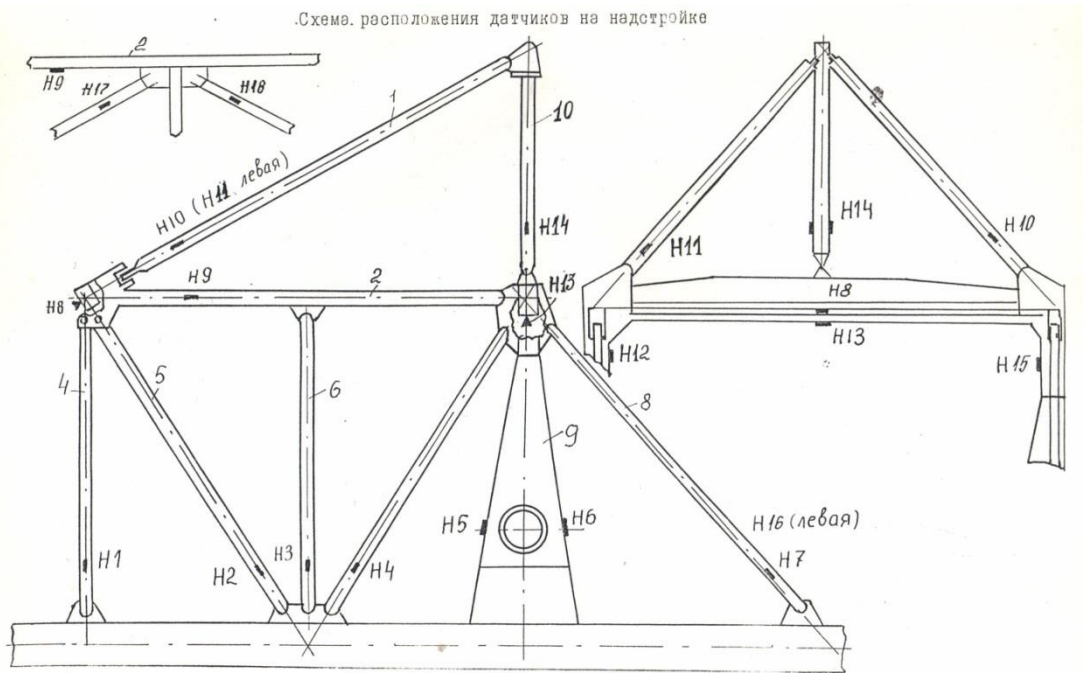


Рис. 2 Схема расположения точек контроля надстройки ЭШ-15/80

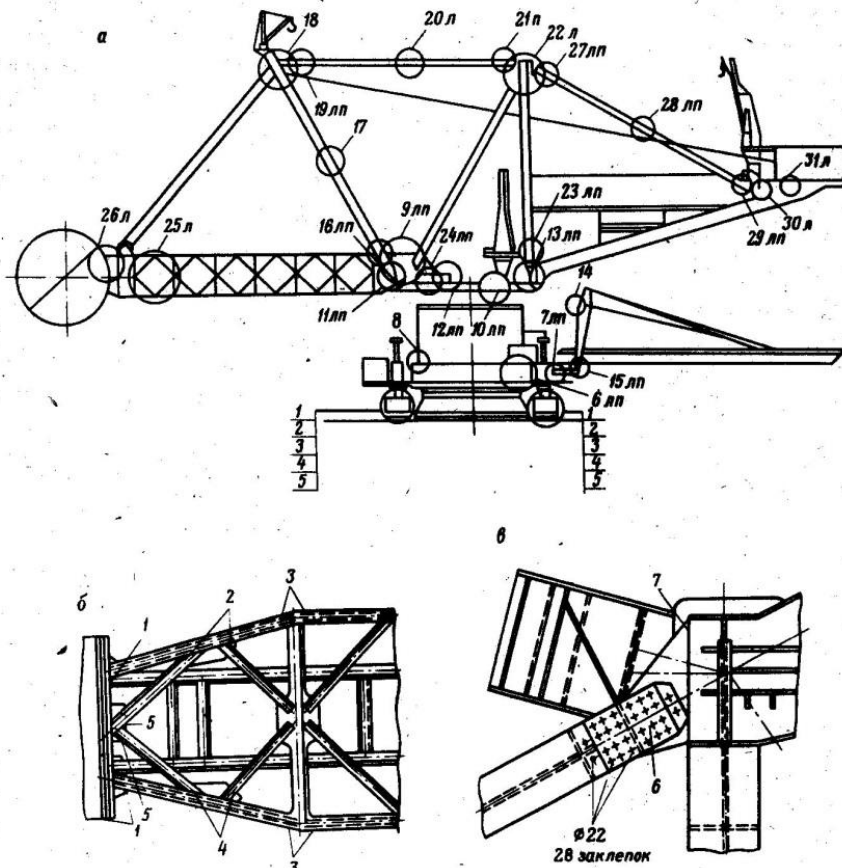


Рис. 3 Схемы расположения контролируемых узлов экскаватора ЭРШРД-5000 (а), швов на контролируемых узлах - тяге оголовка 25л (б) и оголовке стрелы ротора 26л (в): л, п, лп - соответственно левый, правый, левый и правый относительно вертикальной продольной плоскости машины; 1., 2, 3, 4, 5 - вторая; 6, 7 - первая категория швов

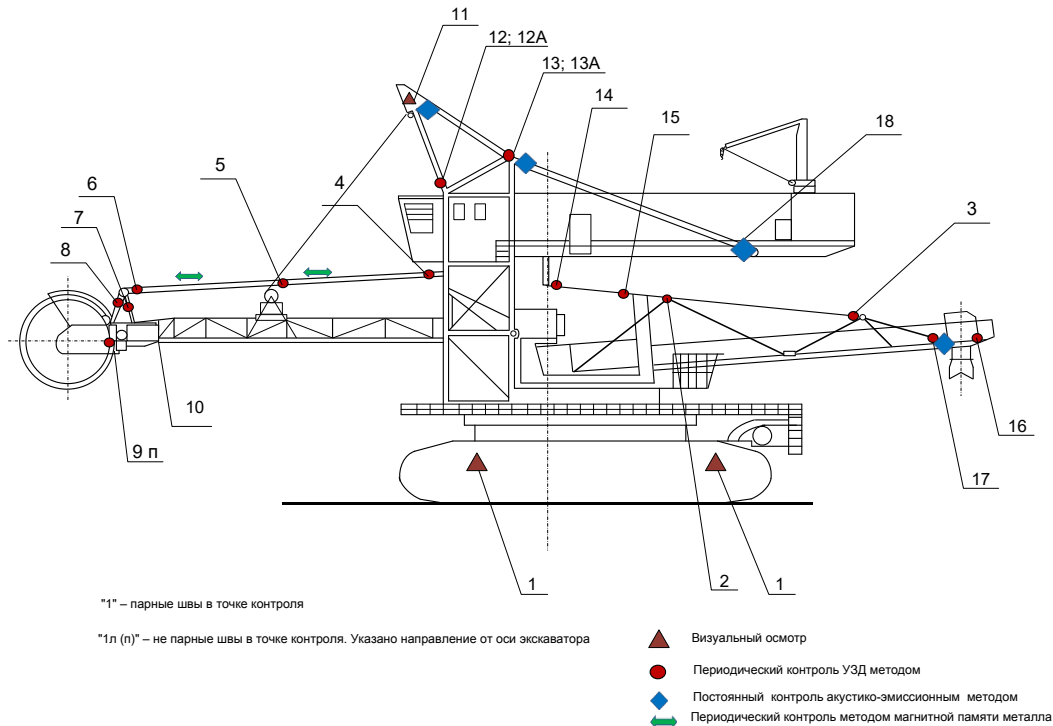


Рис. 4 Схема расположения точек контроля ЭРП-1600

Таблица 2
 Максимальные напряжения в точках стрелы ЭШ-15/80 при экскавации без поворота

Точка	С 13.3	С 13.4	С Т Л.	С Т П.	С ТЯГА	С ИЗГ.
Цикл						
1	69,1	70,0	73,4	57,3	47,8	-14,6
2	74,4	73,5	67,1	55,5	40,9	-15,6
3	72,6	71,8	92,2	73,4	47,0	-19,2
Ср. знач.	72,0	71,8	77,6	62,1	45,2	-16,5
МАХ знач.	74,4	73,5	92,2	73,4	47,8	-19,2

Напряжения даны в МПа; + сжатие, минус - растяжение

Таблица 3
 Максимальные напряжения в точках стрелы ЭШ-15/80 при транспортировке ковша

Точка	С 13.3	С 13.4	С Т Л.	С Т П.	С ТЯГА	С ИЗГ.
Цикл						
1	133,9	119,0	54,6	48,3	-	-
2	132,1	119,0	63,5	55,5	-	-
3	140,9	124,3	80,5	69,8	-	-
4	-	-	89,5	72,5	-	-
Ср. знач.	135,6	120,8	72,0	61,5	-	-
МАХ знач.	140,9	124,3	89,5	72,5	-	-

Напряжения даны в МПа; + сжатие, минус - растяжение

Таблица 4

Величины максимальных напряжений в точках стрелы ЭШ-15/80
при отрыве груженого ковша

Точка	С 13.3	С 13.4	С Т Л.	С Т П.	С ТЯГА	С ИЗГ.
Цикл						
1	86,6	80,5	110,1	127,1	26,1	-
2	88,4	75,3	110,1	127,1	71,3	-
3	109,4	99,8	110,1	127,1	-	-
Ср. знач.	94,8	85,2	110,1	127,1	48,7	-
МАХ знач.	109,4	99,8	110,1	127,1	71,3	-

Напряжения даны в МПа; + сжатие, минус - растяжение

Итог - именно "слабые" места являются точками несущих металлоконструкций карьерных экскаваторов требующих постоянного контроля. Именно они создают фундамент для решения сформулированной проблемы вокруг методов неразрушающего контроля, а также и для совершенствования схем ремонта (несомненно, что эти результаты будут полезны и при проектировании карьерных экскаваторов).

Список литературы

1. Обоснование выбора точек контроля металлоконструкций экскаваторов драглайнов / Побегайло П.А., Крицкий Д.Ю., Мутыгуллин А.В., Шигин А.О. // Уголь. 2018. №.6. с. 48—53. DOI: [10.18796/0041-5790-2018-6-48-52](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2018-6-48-52)
2. Комплексный подход к безопасной эксплуатации элементов металлоконструкций карьерных экскаваторов / Крицкий Д.Ю., Шигин А.О., Бовин К.А., Побегайло П.А. // ГИАБ. 2017. S.32. с. 307—319. DOI: [10.25018/0236-1493-2017-12-38-307-319](https://doi.org/10.25018/0236-1493-2017-12-38-307-319)
3. Побегайло П.А., Ильина А.Н., Крицкий Д.Ю. К вопросу о "слабых местах" драглайнов // «Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности»: XIX Международная научно-техническая конференция. Чтения памяти В.Р. Кубачека / УГГУ. Екатеринбург. с. 371 – 374, 2021.
4. Бойцов Б.В. Прогнозирование долговечности напряженных конструкций: комплексное исследование шасси самолета. М.: Машиностроение, 1985. 232 с.
5. Крылов Э.С., Боголюбов М.В. Техническое состояние и контроль металлоконструкций горнотранспортных машин: обзор. М.: ЦНИЭИуголь, 1986. 44 с.

УДК 621.879

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

П.А. Побегайло¹, к.т.н.; Д.Ю. Крицкий², инж.; Е.С. Сазанкова³, к.т.н., доц.

¹ - Независимый исследователь, Москва, РФ;

² - АО "СУЭК-КРАСНОЯРСК", Красноярск, РФ; ³ - НИТУ МиСиС, Москва, РФ

Начало третьего тысячелетия новой эры развития человечества ознаменовано существенно растущими требованиями к техническим системам на предмет роста их безопасности для человека и окружающей среды. Задача выдачи потребного объема полезной продукции для этих систем не только не смягчена, а, наоборот - приобретает всё более жесткие формы. На это накладываются очевидные экономические трудности, приводящие к тому, что технические системы приходится эксплуатировать в сверхнормативных режимах. Нужно принимать наискорейшие и эффективные меры, например, в части оценки текущего состояния технических систем, работающих на грани и за гранью паспортного времени своей эксплуатации. Для построения каркаса системы экспресс - диагностики горных машин, и в частности, для карьерных экскаваторов-драглайнов необходимо использовать методы неразрушающего контроля. Настоящая работа даёт ответ на проблемный вопрос - для постоянного мониторинга стрел и надстроек экскаваторов-драглайнов нужен комплексный подход на базе акустико-эмиссионного метода. Сформулированы основные требования к технологии применения методов неразрушающего контроля.

Ключевые слова: экскаваторы драглайны; системы экспресс-диагностики состояния экскаваторов; методы неразрушающего контроля.

ON THE CHOICE OF MONITORING AND EVALUATION METHODS STATE OF METAL STRUCTURES MINE EXCAVATOR

P.A. Pobegailo, D.Y. Kritckij, E.S. Sazankova

The beginning of the third Millennium of the new era of human development is marked by significantly increasing demands for technical systems to increase their safety for humans and the environment around us all. The task of issuing the required volume of useful products for these systems is not only not mitigated, but, on the contrary, is becoming increasingly rigid. This is superimposed obvious economic difficulties leading to the fact that technical systems have to operate in excess modes. The tangle of these problems is very contradictory and growing all the time. It is necessary to take the quickest and most effective measures - for example, in terms of assessing the current state of technical systems operating on the verge and beyond the passport time of its operation. Namely, the speech in it goes that for construction of a skeleton of system of ex-press diagnostics of mining machines, and in particular, for career excavators draglines it is necessary to use so-called methods of nondestructive control. It turns out that it is necessary to conduct not only of themselves these methods, but also about hardware, software, methodological and institutional slice of the problem - therefore, in the present work we are talking about the use of technology NDT methods. The analysis of the authors literary sources shows that there is no sound and complete recommendations on the selection (formation) is Noi technology - there is no private research-based papers on the topic just on the choice of a method. For continuous monitoring of arrows and superstructures of dragline excavators, an integrated approach based on the acoustic emission method is needed.

Keywords: excavators draglines; systems of Express diagnostics of the state of excavators; methods of non-destructive testing

Введение. Не секрет, что техника, эксплуатирующаяся на открытых горных работах, это сложные пространственные металлоконструкции

(МК) скрепленные, чаще всего, сваркой и с установленными на них элементами привода, ходового и рабочего оборудования (также производимых из разных металлов и сплавов, и также не без участия сварочного аппарата).

Так же давно известно, что как условия изготовления машин, так и условия их эксплуатации не приводят к увеличению их надежности, долговечности, работоспособности - всё совсем наоборот: машины постепенно "портятся" и после списания утилизируются.

Так как человек уже не первые десять лет добывает энергию, используя дары природы, доставаемые из Земли, то причины, приводящие к тому, что техника "портится" в целом известны, хотя, надо признать, поняты эти причины не до конца.

Отметим, что было бы крайне желанным осуществлять ежесекундный мониторинг жизнедеятельности каждой машины. Такого рода мониторинг возможен при применении современных достижений науки и техники - в частности - т.н. методов неразрушающего контроля (МНК).

Однако существует очевидная проблема с использованием МНК - их много (а применение каждого требует значительных финансовых и технических затрат) и нам неизвестно четких рекомендаций о том, каким методом (ами) надо пользоваться для одноковшовых экскаваторов - "основных кораблей карьеров".

Итак, рассмотрим проблему выбора подходящих методов неразрушающего контроля (НК) для ежесекундного мониторинга состояния стрелы и надстроек экскаваторов драглайнов.

Требования к МНК для мониторинга состояния стрелы и надстройки экскаватора драглайна в ежесекундном режиме. На основании анализа процесса эксплуатации экскаваторов-драглайнов, учитывая известные и скрытые особенности их поломок и ремонтов, не забывая про внешние условия работы этих машин и качество их заводских проектов, опираясь на нормативные документы и федеральные законы, выдвинем следующие требования:

- технология применения МНК должна гарантированно успешно работать в сложных и изменчивых внешних условиях, в число которых входят, например, запыленность рабочей зоны, солнечная радиация, перепады дневной и годовой температуры и пр.;

- технология применения МНК должна быть устойчива к работе в условиях сильной пространственной стохастической динамической нагруженности, присущей экскаваторам-драглайнам, когда металлоконструкции - грязные, шероховатые (часто имеется коррозия), их размеры достигают десятков метров в трехмерном пространстве, образцы из них вырезать нельзя, доступ ко многим местам конструкции сильно затруднен. При этом нежелательно, чтобы технология МНК негативно влияла на рабочий процесс машины (так - вся передача данных должна быть беспроводной);

- технология применения МНК должна обеспечивать инженеров по эксплуатации (а так же и проектировщиков самой машины) полным (достаточным и необходимым) набором данных, для оценки состояния МК экскаватора, в режиме постоянного мониторинга состояния конструкций экскаваторов драглайнов ("24/7"), с учётом уровня квалификации имеющегося персонала и без необходимости постоянного присутствия специалиста по МНК (нам требуется высоконадежная мехатронная система!). Искомая и желанная технология должна быть оправданной и по экономическим критериям;

- технология применения МНК не должна нарушать экологических и социальных требований современного мира, а также должна быть вписана в эргатическую систему управления машиной, и всем предприятием в целом, с учётом психологического профиля оператора и прочих факторов жизнедеятельности горного производства.

Дополнительно необходимо отметить, что так как технология МНК в конечном итоге должна стать основой для прогнозирования остаточного ресурса и безопасности рассматриваемых машин и их элементов, то представляется важным в желанной технологии наличие таких возможностей [5 и др.] как: выявление внешних и внутренних дефектов конструкций; оценка ухудшения свойств металла; определение напряженно-деформированных участков и зон металлоконструкций, на которых наиболее вероятно появление опасных дефектов; расчёт коэффициента интенсивности напряжений для оценки степени риска (опасности) найденных дефектов.

Краткий обзор основных существующих МНК. Сегодня известно значительное число как видов неразрушающего контроля МК, так и методов (способов и подходов) их реализующих - охватить всю их совокупность, детально представить физическую основу, плюсы и минусы и многое другое с ними связанное, в рамках одной статьи, невозможно. Поэтому осветим эти методы кратко, конспективно, опираясь на работы наших коллег и предшественников [5 - 27]. Итак...

1) Капиллярные методы контроля. "Основаны на капиллярном проникновении индикаторных жидкостей (пенетрантов) в полости поверхностных и сквозных несплошностей контролируемых изделий и регистрации образующихся индикаторных следов визуальным способом или с помощью специальных преобразователей. Капиллярные методы в зависимости от способа выявления индикаторного рисунка подразделяют на люминесцентный, цветной, люминесцентно-цветной, яркостный" [6, 7].

"К недостаткам метода можно отнести то, что он выявляет только поверхностные или сквозные несплошности; требует значительных временных затрат на подготовку поверхности изделий, а также на обработку результатов контроля; невозможность автоматизации. Значительная трудоёмкость капиллярных методов препятствует их использованию для кон-

троля сварных швов (точек), т.к. в некоторых конструкциях мест требующих контроля может быть несколько тысяч и более" [6].

2) Оптические методы контроля. "Оптический вид НК основан на наблюдении или регистрации параметров оптического излучения, взаимодействующего с контролируемым объектом" [8].

В число этих методов входит внешний осмотр [6 и мн. др.]. Минусы его очевидны. Применение оптико-электронных средств повышает эффективность НК, позволяет его автоматизировать. Однако условия работы экскаватора-драглайна делают применение такого рода продвинутых методов, как минимум, затруднительными.

3) Вихретоковые методы контроля. "Вихретоковый (электромагнитный) метод контроля основан на регистрации изменения поля вихревых токов, наводимых в приповерхностном слое изделия" [6].

"На чувствительность электромагнитного метода значительно влияет зазор между датчиком и поверхностью контролируемого изделия, а также их взаимное расположение, форма и размеры [9]. Так как сейчас не существует теоретических методов установления зависимости удельной электрической проводимости от дефектности сварного соединения, то задача решается экспериментальным путём [10], что можно отнести к недостаткам метода" [6].

4) Магнитные методы контроля. "Магнитные МНК применяют главным образом для контроля изделий из ферромагнитных материалов. В зависимости от используемого способа получения информации магнитные методы делятся на магнитопорошковый [11 и мн. др.], магнитографический, феррозондовый, индукционный, эффект Холла, пондеромоторный, магниторезисторный [7]. С помощью магнитных методов контролируют размеры сварной точки, сплошность и механические свойства. При использовании магнитных методов в области сварного соединения создается сильное магнитное поле. Любой дефект, попадающий в это поле, будет создавать локальное поле утечки (рассеяния). По распределению магнитного поля вокруг места сварного соединения определяют качество сварки" [6].

"Очевидным недостатком магнитопорошкового способа НК является его трудоемкость и невозможность автоматизации (в отличие от прочих способов магнитного НК). К общим недостаткам традиционных магнитных методов можно отнести то, что распределение магнитного поля на поверхности объекта контроля может зависеть не только от дефектов, но и от локальной структуры или магнитной неоднородности металла. Это требует создания специализированных методов обработки первичной информации, чтобы избежать ложной расшифровки полученных в процессе контроля данных" [6].

5) Электрические методы контроля. "Согласно работе [15] к перспективным методам НК сварных соединений относится метод использования токов шунтирования. Метод состоит в пропускании через сварное соеди-

нение постоянного или высокочастотного тока" [6] - очевидно, что для нас это не подходит.

б) Тепловые методы контроля. "Тепловые методы основаны на изменении температурного поля поверхности объекта, являющегося источником информации об особенностях процесса теплопередачи, которые, в свою очередь, зависят от наличия внутренних или наружных дефектов. Основными регистрируемыми параметрами являются интенсивность, температурный градиент, контраст, лучистость и др." [6].

"Достоинствами теплового контроля являются дистанционность (при условии использования бесконтактных датчиков), высокая производительность испытаний и возможность создания автоматизированных систем контроля и управления технологическими процессами. К недостаткам бесконтактных измерений можно отнести достаточно жесткие требования к чистоте окружающей среды и к качеству подготовки поверхности." [6].

7) Радиационные методы контроля. "Радиационный контроль сварных соединений обычно проводят с помощью рентгеновского или гамма-излучения [16]. Этим способом выявляются трещины, раковины, скопления оксидов, поры и выплески. К сожалению, рентгеновское просвечивание для большинства металлов не позволяет установить наличие литой зоны сварных соединений, так как коэффициент ослабления рентгеновских лучей литого и основного металлов практически одинаковы. Поэтому на рентгеновском снимке граница литого ядра практически не выявляется, а видимый круг иной контрастности связан с вмятиной от электродов. Однако у некоторых металлов в результате сварки металл литой зоны неоднороден по химическому составу. Это приводит к неодинаковому ослаблению рентгеновских лучей различными участками литого ядра" [6].

"Основными недостатками рентгеновских методов являются их повышенная опасность для дефектоскописта, значительная стоимость и габариты оборудования, трудность расшифровки полученных снимков." [6]. Переносные малогабаритные рентгеновские дефектоскопы, которые соответствуют европейским нормам безопасности, все равно представляются, в настоящее время, не подходящими для использования в условиях постоянного мониторинга несущих МК экскаваторов драглайнов хотя бы и из-за социально-психологических особенностей нашего общества.

8) Вибрационные методы неразрушающего контроля. Вибрационное диагностирование объектов проводится в три этапа: первичное описание вибрационного состояния объекта, выделение признаков и принятие решения. Из множества параметров, характеризующих вибрационный процесс, выделяют только те, которые прямо или косвенно характеризуют состояние объекта. По этим параметрам формируют информативную систему признаков, используемых при диагностировании [17].

Выбор метода диагностики зависит от структурного, функционального и вибрационного состояния объекта. Выделяют следующие основные неисправности и характеристики вибросигналов, используемые в диагно-

стических целях: дефекты роторов, дефекты подшипников качения (структуры АМ-огибающих узкополосных высокочастотных компонент вибросигналов, амплитудное распределение, моментные характеристики (дисперсия, эксцесс), корреляционные и регрессивные зависимости, амплитудные дискриминанты, пик-фактор), дефекты подшипников скольжения, дефекты механических систем, дефекты рабочих колес вентиляторов, турбин и компрессоров, насосов, дефекты электромагнитных систем электрических машин.

На наш взгляд, эти методы НК наилучшим образом подходят для контроля состояния систем привода экскаваторов. Но для мониторинга МК стрелы и надстройки они не представляются подходящими.

9) Акустические методы контроля. [6, 11 и мн. др.]

"При ультразвуковом контроле, как правило, используется пьезоэлектрический преобразователь частотой 10...20 МГц с линией задержки для генерации эхо-сигналов, представляющих различные отражения звуковой волны внутри сварного соединения, которые далее интерпретируются для определения его качества" [6, 18]. "Ультразвуковой контроль позволяет определять раковины, трещины, поры и выплески, а также может эффективно использоваться для диагностики полного непровара. Для определения частичного непровара необходимо использовать специальные методики контроля и расшифровки ультразвуковых дефектограмм. Недостатком большинства ультразвуковых методов является невозможность отличить наличие литого ядра от слипания" [6]. Считается, что на пользу этому методу пойдет активное внедрение и применение искусственных нейронных сетей и элементов искусственного интеллекта.

10) Прочие методы контроля. К МНК также относятся испытания соединений тарированной нагрузкой и метод электромеханического импеданса. Минусы первого подхода вытекают из необходимости приложения к сварному шву нагрузок, не превышающих допустимые. Минусы второго подхода формируются необходимостью жесткого крепления к каждому рассматриваемому сварному шву датчиков.

Заключение. На основании сформулированных выше требований и пожеланий к создаваемой технологии применения МНК МК экскаваторов-драглайнов в условиях их эксплуатации, которая должна в будущем стать одной из частичек каркаса системы экспресс-диагностики этих машин, можно сказать, что для успешной и надёжной эксплуатации указанных машин необходимо применение совокупности методов НК, основу которой, на наш взгляд, может составить один из методов акустического контроля - акустико-эмиссионный.

На его основе становится возможным организация мониторинга карьерных экскаваторов в режиме "24/7". При этом контроль основных МК карьерных экскаваторов должен быть дополнен мониторингом вибрации ключевых узлов и механизмов, и периодическими контролем по уже известным схемам.

Отметим, что первый этап промышленных испытаний, направленных на выявление особенностей АЭМ в приложении к экскаваторам-драглайнам уже прошел и кратко представлен в статье [26].

Список литературы

1. Обоснование выбора точек контроля металлоконструкций экскаваторов драглайнов / Побегайло П.А., Крицкий Д.Ю., Мутыгуллин А.В., Шигин А.О. // Уголь. 2018. №6. с. 48—53. DOI: [10.18796/0041-5790-2018-6-48-52](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2018-6-48-52)
2. Комплексный подход к безопасной эксплуатации элементов металлоконструкций карьерных экскаваторов / Крицкий Д.Ю., Шигин А.О., Бовин К.А., Побегайло П.А. // ГИАБ. 2017. S.32. с. 307—319. DOI: [10.25018/0236-1493-2017-12-38-307-319](https://doi.org/10.25018/0236-1493-2017-12-38-307-319)
3. Побегайло П.А., Крицкий Д.Ю. О разработке инженерного подхода к оценке концентраторов напряжения в металлоконструкциях экскаваторов драглайнов // «Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности»: XVI Международная научно-техническая конференция. Чтения памяти В.Р. Кубачека. / УГГУ. Екатеринбург. с. 268 – 273, 2018.
4. Ладенко И.С. Интеллектуальные системы и логика. Новосибирск: Наука, 1973. 174 с.
5. Проблемы определения ресурса сварных конструкций (обзор) / Бондаренко Ю.К., Фурман Я.М., Бондаренко А.Ю., Ковальчук О.В. // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. 2005, № 1, с. 3 - 9.
6. Современные методы и средства неразрушающего контроля сварного соединения, выполненного контактной точечной сваркой (обзор) / Шаповалов Е.В., Галаган Р.М., Клишар Ф.С., Запара В.И. // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. 2013, № 1, с. 10 - 22.
7. Сварка. Резка. Контроль: Справочник. В 2-х томах / Под общ. ред. Н.П. Алешина, Г.Г. Чернышова. Т. 2 / Н.П. Алешин, Г.Г. Чернышов, А.И. Акулов и др. - М.: Машиностроение, 2004. - 480 с.
8. Сударикова Е.В. Неразрушающий контроль в производстве. Ч 1. СПб.: ГУАП, 137 с.
9. Сварка и свариваемые материалы. Справочное издание. В 3-х томах / Под ред. В.М. Ямпольского Т. 2 Технология и оборудование / - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1996. - 574 с.
10. Дерун Е.Н. Вихретоковый контроль точечных сварных соединений. Старая Руса: СПК (филиал) НовГу им. Ярослава Мудрого, 2010. 142 с.
11. Дубов А.А. Проблемы оценки остаточного ресурса стареющего оборудования // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. 2010, № 2, с. 49 - 54.
12. Куликов В.П., Болотов С.В. Магнито-тепловой метод контроля сварных соединений, полученных контактной точечной сваркой // Сварочное производство, 2003, № 9, с. 16 - 20.
13. Дубов А.А., Колокольников С.М. Проблемы контроля качества сварки и их решение на основе метода магнитной памяти металла // Технология машиностроения, 2005, № 4. с. 43 - 47.
14. ГОСТ Р ИСО 24497-1-2009. Контроль неразрушающий. Метод магнитной памяти металла. Ч. 1. Термины и определения. М.: Стандартиформ, 2010. 7 с.
15. Банов М.Д. Технология и оборудование контактной сварки. М.: Издат. центр "Академия", 2008. 224 с.
16. Зуев В.М., Табакман Р.Л., Удралов Ю.И. Радиографический контроль сварных соединений. СПб.: Энергоатомиздат, 2001. 148 с.
17. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / В.В. Клюев, Ф.Р. Соснин, А.В. Ковалев и др.; Под ред. В.В. Клюева. М. Машиностроение, 2003. 656 с.
18. Неразрушающий контроль: Справочник: в 7 т. Под общ. ред. В.В. Клюева. Т 7: В 2 кн. Кн. 1: В.И. Иванов, И.Э. Власов. Метод акустической эмиссии / Кн. 2: Ф.Я. Балицкий, А.В. Барков, Н.А. Баркова и др. Вибродиагностика. М.: Машиностроение, 2005. 829 с.
19. Троицкий В.А., Валевиц М.И. Неразрушающий контроль сварных сооружений. М.: Машиностроение, 1988. 112 с.
20. Недосека А.Я., Недосека С.А. Об оценке надежности эксплуатирующихся конструкций (состояние вопроса и перспективы развития) // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. 2010, № 2, с. 7 - 17.
21. Кияшко Л.А., Мурзин Л.М. Особенности методики контроля качества сварных изделий в условиях ремонтных предприятий // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. 2002, № 4, с. 48 - 49.

22. Rusiński E. & etc. Surface mining machines: problems of maintenance and modernization. Springer International Publishing AG, 2017. 169 p. ISBN 978-3-319-47792-3, DOI 10.1007/978-3-319-47792-3
23. Raj J. et al. Study on the analysis of excavator boom: a review // SSRG International Journal of Mechanical Engineering, Vol. 2, No 7, 2015, pp. 31 - 39.
24. Dikshant Singh Saini, Debasis Karmakar, Samit Ray-Chaudhuri A review of stress concentration factors in tubular and non-tubular joints for design of offshore installations // Journal of Ocean Engineering and Science, 2016, № 1. pp. 186–202.
25. Fustar B., Lukacevirc I., Dujmovirc D. Review of Fatigue Assessment Methods for Welded Steel Structures // Advances in Civil Engineering, 2018, 16 p. <https://doi.org/10.1155/2018/3597356>
26. Организация мониторинга стрел экскаваторов-драглайнов в режиме эксплуатации / Крицкий Д.Ю., Мутыгуллин А.В., Шигин А.О., Бардаков В.В. // Горный журнал. 2018. №.2. с. 91—96. DOI: [10.17580/gzh.2018.02.13](https://doi.org/10.17580/gzh.2018.02.13)
27. Оптимизация размещения датчиков и повышение точности локации источников акустической эмиссии / Недосека С.А., Овсиенко М.А., Харченко Л.Ф., Яремченко М.А. // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. 2015, № 3, с. 18 - 25.

УДК 622:271

РЕМОНТНАЯ ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ГОРНОЙ ТЕХНИКИ – БАЗОВЫЙ ФАКТОР ЕЁ ВЫСОКОЙ НАДЕЖНОСТИ

Т.А. Ткачева, доц., к.т.н.

«Московский политехнический университет», г. Москва, РФ

В работе показано, что ремонтная технологичность – базовый фактор высокой надежности горной техники (ГТ). В настоящее время ремонтные технологии имеют первостепенную значимость, т.к. в ремонтных подразделениях осуществляется полное восстановление ГТ, реализуются технические и социальные процессы.

Ключевые слова: горная техника, ремонтная технологичность, базовый фактор высокой надежности, ремонтные подразделения.

REPAIR TECHNOLOGY OF MINING EQUIPMENT IS THE BASIC FACTOR OF ITS HIGH RELIABILITY

Tkacheva T.A.

The paper shows that repair manufacturability is the basic factor of high reliability of mining equipment (GT). Currently, repair technologies are of the paramount importance, because in the repair units, a complete restoration recovery of the GT, implemented technical and social processes.

Keywords: mining equipment, repair manufacturability, the basic factor of high reliability, repair units.

Ремонтные технологии - важнейшее тактико-стратегическое направление эффективного функционирования горнодобывающего производства (ГДП). Необходимость ведения текущего ремонта ГТ регламентируется соответствующими стандартами, такими как ГОСТы, ОСТы, РУ (руководящие материалы) и в значительной мере СТП (стандартами конкретного предприятия) [1-5]. Для правильной постановки и решения задачи ремонта ГТ необходима её практическая и теоретическая проработка. А существующие подходы к ремонтно-профилактическому обслуживанию (РПО) ГТ не согласуются в полной мере с задачами обеспечения технологической безопасности и надежности ГТ. Практически непрерывная работа ГТ является в тоже время её натурным испытанием и возможностью получать данные об отказах.

Существующие подходы к РПО в линейке режимных взаимосвязей «МПИ – Карьер(разрез) - Технологический участок (вскрыша, перегрузка, забой) - ГТ» не всегда учитывают подробности всех особенностей условий, в которых работает ГТ (экскаваторы, бульдозеры, автотранспортные средства (АТС) и др.). Например, температурный диапазон на экскаваторы по паспортным данным (+40 - -40)⁰С), а фактически он намного шире, т.к. экскаваторы работают в более широком диапазоне изменений температуры (в частности, летом в забоях разных горизонтов температурный режим существенно различен, а значит износ деталей и узлов ГТ происходит по-разному). В настоящее время необходимо уделить внимание моделям экскаваторов типа ЭКГ-5А, подбору соответствующих бульдозеров на гусеничном ходу и АТС. Экскаватор ЭКГ-5А уникальная горная машина (дан-

ный экскаватор это модификация старых моделей Уралмашзавода: ЭКГ-4,6Б и ЭКГ-4,6, ЭКГ-4,6А разработкой которых осуществлял Владимир Рудольфович Кубачек). ЭКГ-5А состоит из рабочего оборудования, поворотной платформы с механизмами и ходовой тележки. В рабочее оборудование входят: ковш, рукоять, стрела с напорным механизмом, двуногая стойка и механизм открывания ковша. Его обобщенная конструктивная схема рабочих размеров важна для разработки технологии РПО экскаваторов (рис.1).

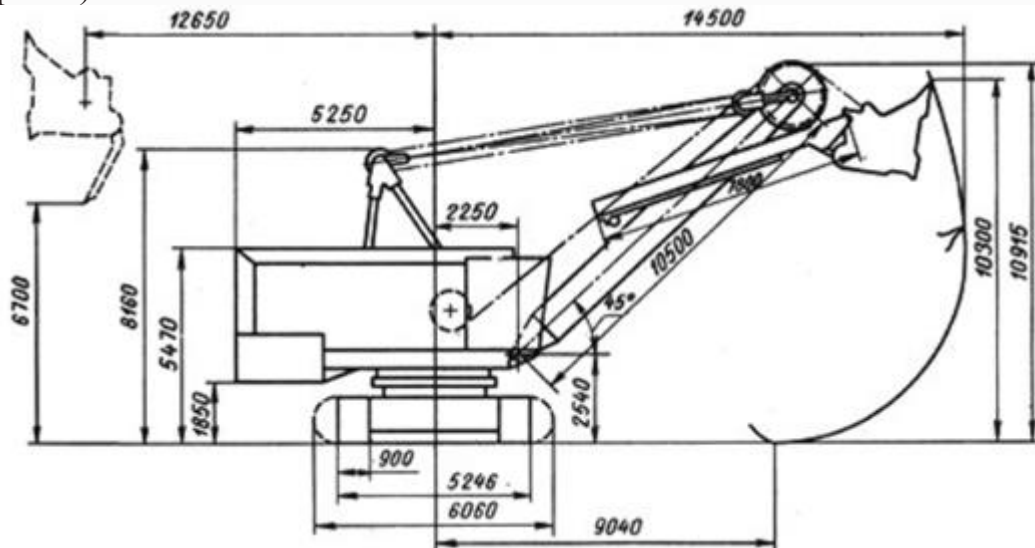


Рис.1 Обобщенная конструктивная схема устройств экскаватора ЭКГ-5А.

Схема рис. 1 весьма информативна и поэтому всё перечисленное выше по экскаватору ЭКГ-5А представлено в информационной базе ГДП и его серверной структуре. Отметим, что сейчас сервера предприятий несут огромную информационную нагрузку. Но в отношении данных по РПО ГТ имеет место информационная неполнота, ввиду того, что современной теории РПО ГТ нет. Объём данных по РПО ГТ $O_{\text{РПО ГТ}}$ может быть представлен как $O_{\text{РПО ГТ}} \rightarrow \infty$.

Современные 'i.t.' представленного алгоритма реализовать не могут, т.к. количество информации ими определяется по К. Шеннону, который определял количество информации как сумму логарифмических функций состояний некоторых элементов. А из элементарной математики известно, что логарифмическая функция одновременно ограничена и бесконечна. Т.е. нужна новая теория информации. Всё это обсуждалось на секции «Информационные технологии в горном деле» на Международном симпозиуме «Неделя Горняка - 2023».

Теоретическая часть

ГТ - базовое техническое пространство. А ГТ, работающее на карьере (разрезе), это - внешнее пространство и характеризуется другими свойствами (рис.2).

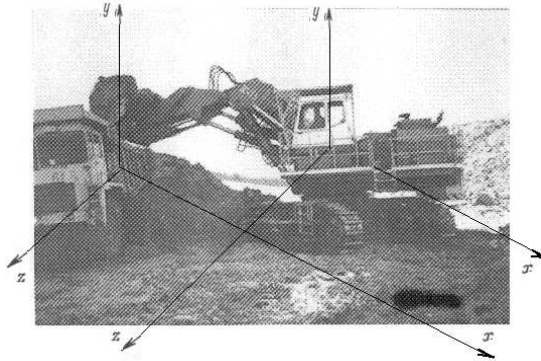


Рис. 2. Метризация добычного пространства МПИ.

Пространства с размещенной ГТ должны быть метризованы [6].

$$\text{Карьер} \leftrightarrow \text{Забой} \leftrightarrow \text{ГТ} \quad (1)$$

Каждая единица ГТ состоит из большого числа элементов - $N_{\text{ЭГТ}}$ и имеет свои временные характеристики.

При выходе из строя некоторой доли элементов - $n_{\text{ГТ}}$ наступает отказ частей - Ч, механизмов - М, устройств - Уст, узлов - У, деталей - Д, схем - С и т.д. ГТ. Примем, что

$$P_{\text{ГТ}}(n_{\text{Н}}, n_{\text{Т}}, t, C_{\text{р}}) \quad (1)$$

есть некоторое распределение вероятностей отказов в конструктивах ГТ.

Считаем, что (1) представляет вероятность нахождения ГТ в некоторый фиксированный момент времени t (например, включенный в регламент РПО ГДП) быть в состоянии, когда доля отказавших элементов в начальном состоянии равна $n_{\text{Н}}$, определена в момент времени $t=0$; $n_{\text{Т}}$ - доля элементов, отказавших в последующее время $t \neq 0$, $C_{\text{р}}$ - некоторая постоянная функции $P_{\text{ГТ}}$. Развитие аналитической модели (1) для коэффициента готовности ГТ $K_{\text{ГТ}}$, включающая переменные “ $n_{\text{Н}}, n_{\text{Т}}, t$ ” системно представляется как

$$K_{\text{ГТ}}(n_{\text{Н}}, n_{\text{Т}}, t, C_{\text{КГТ}}) = \left[\int_0^{t_1 \pm \Delta t_1} (n_{\text{Н}}(t) dt), C_{\text{Н}} \int_{t_1 \pm \Delta t_1}^{t_2 \pm \Delta t_2} (n_{\text{Т}}(t) dt), C_{\text{Т}} \right] \quad (2)$$

Задание в (2) временных пределов интегрирования точно невозможно, поэтому они определяются в виде $(t_1 \pm \Delta t_1)$ и $(t_2 \pm \Delta t_2)$. Количество отказов в частях, механизмах, устройствах, узлах ГТ зависит от временных переменных “ t ” и “ $\pm \Delta t$ ”. При экспоненциальном законе надежности ГТ i -го вида полагаем

$$P_{\text{ГТ} i}(t, C_{\text{ГТ} i}) = e^{-A_{i \text{ГТ}} t}, \quad (3)$$

где $P_{\text{ГТ} i}(t, C_{\text{ГТ} i})$ - вероятность безотказной работы ГТ i -го вида, A - некоторая постоянная, отражающая интенсивность отказов конструктивных элементов ГТ.

Модель (3) носит расчетно-инженерный характер. Её можно использовать для расчёта надежности ГТ при переоснащении ГДП и введении в эксплуатацию новых экскаваторов (ЭКГ-5А), бульдозеров, АТС (большегрузных КАМАЗов) и др. горного оборудования. На рис. 3 представлены: координатное пространство (КП) расчётного исследования движений ча-

стей и механизмов типового отечественного экскаватора; конструкция в этом КП и его фото при работе в одном из забоев.

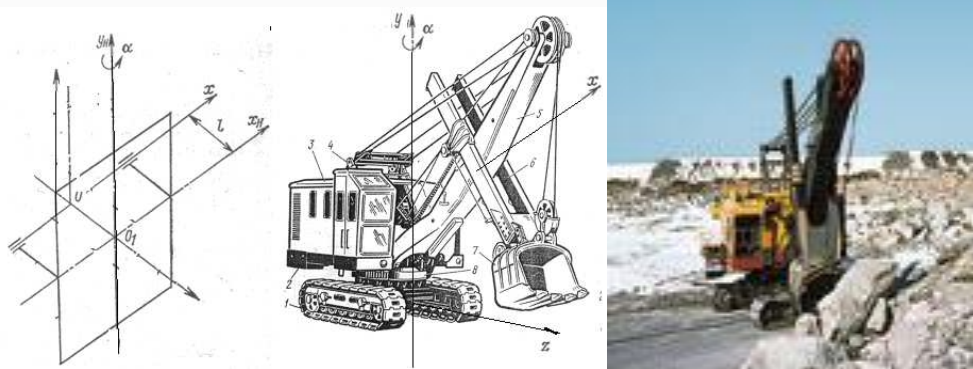


Рис.3. Расчетные схемы

Анализируя информацию рис.3. можно сказать следующее:

- движение каждого элемента конструкции комбинированное (не существует только вращательного (в виду нано люфтов появляется винтовой эффект [1-3]), (износ вала поворотной платформы экскаватора за один цикл экскавации составляет порядка 10^{-9} м, поэтому и характер изменений вращательного движения вала не известен, тем более в условиях вибраций));

- поступательное движение ГТ ввиду износа деталей в узлах, например, в конструкции гусеничного хода экскаватора или бульдозера усложняется, т.к. постоянно изменяются координаты их центров тяжести при изменении нагрузки в процессе экскавации горной массы (г.м.), которая по-разному подготовлена (например, имеет место негабарит, что требует новых технологических решений и комбинированного использования ГТ).

Эти вопросы фундаментально разрабатываются и широко представлены в работах Кубачека В.Р. [7-8], Ю. А. Лагуновой и её научной школой [9-10]. При этом важны и все свойства конкретного забоя на любом МПИ [11].

В современных производственных условиях для обеспечения полного выполнения всех видов РПО для ГТ на ГДП должно выполняться условие

$$K_{ГРПО} \geq K_{ГТ}. \quad (4)$$

Т.е. РПО должно иметь опережающий уровень развития. Необходимо разработка новой теории ремонтно-профилактического обслуживания ГТ. Она должна базироваться в т. ч. на математическом анализе, тоже активно развивающемся, и аналитической механике. Заметим, что в развитии новых направлений исследований ГТ необходимо использовать труды великих русских ученых математиков и механиков: С.В. Ковалевской, Н.И Лобачевского, Н.Е. Жуковского, Э.К. Циолковского и многих, многих других. В настоящее время имеет место высокоточное отслеживание эксплуатации ГТ и её режимных особенностей в серверных структурах не только ГДП, но и регионов, где расположены МПИ [6].

Выводы:

1. Необходима новая стратегия развития ремонтно-профилактического обслуживания ГТ. Это важнейший сектор экономики РФ, имеющий большое социальное значение, т.к. создаётся новая технологичность сопровождающих направлений горнодобывающего производства: программирования и i.t. [6]
2. Важно разрабатывать новую теоретическую основу РПО ГТ.
3. Развивать подготовку учёных и инженеров широкого профиля для работы в подразделениях РПО ГДП.

Список литературы

1. ГОСТ 18322-2016. СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ТЕХНИКИ. Термины и определения. – Москва. Стандартинформ. – 2017. – 14 с.
2. ГОСТ 27.310-95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения. – Минск. – 1997. – 14 с.
3. ГОСТ 18322–2016. Система технического обслуживания и ремонта техники. Общие требования. Москва. Стандартинформ - 2017. – 14 с.
4. ГОСТ ISO 6747-2018. БУЛЬДОЗЕРЫ. Термины, определения и технические характеристики для коммерческой документации
5. ГОСТ 2586-83. Эксплуатация техники. Термины и определения. ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ.-Москва. – 9 с.
6. Ткачева Т.А. Приоритетные показатели надежности горной техники (ГТ), используемые в условиях активизации развития цифровизации и интеллектуализации (Ц и И) в горно-добывающем производстве (ГДП). Материалы Международного симпозиума «Неделя Горняка 2023». Москва. – МИС и С. - 2023.
7. Кубачек В.Р. Параметры разрушения горных пород ударом. // Строит. и дор. маш. - 1985. - № 6. - С. 17-18.
8. Кубачек В.Р., Сайтов В.И., Паладеева Н.И. Критерий ударного разрушения горных пород//Известия вузов. Горный журнал.- 1985.- № 8- С. 75-78.
9. Лагунова Ю.А. Экспериментальное исследование процесса разрушения слоя кусков горной породы. //Горное оборудование и автоматика № 5. 2004.
10. Лагунова Ю.А. Моделирование процесса саморазрушения горно-добывающих пород при многослойной укладке кусков. //Горное оборудование и автоматика № 6. 2004.
11. ОСТ 24.072.11-81 Забои одноковшовых экскаваторов. Показатели качества. - ИПК ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ. Москва. – 15 с.

УДК 622.00

ПРАКТИКА ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

Ю.В. Холодников, к.т.н., ген. директор
ООО СКБ «Мысль», г. Екатеринбург, РФ

Приведены примеры импортозамещения изделий иностранного производства, попавших под санкции ЕС, на российские аналоги из композиционных материалов.

Ключевые слова: композиты, импортозамещение.

THE PRACTICE OF IMPORT SUBSTITUTION

Yu.V. Kholodnikov

The article provides examples of import substitution of foreign-made products that have fallen under EU sanctions for Russian analogues made of composite materials.

Keywords: composites, import substitution.

Санкционный терроризм, устроенный нашими бывшими «партнерами» по ситуации, который, в общем, их не касается, привел к обрыву практически всех кооперационных связей в области научно-технического сотрудничества. Конечно, ситуация неприятная, но не безвыходная.

В сложившихся обстоятельствах, на мой взгляд, надо не поддаваясь панике, спокойно работать, искать варианты замещения утраченных связей и разработки своих технологий, а главное, не опускать руки, на радость наших бывших «партнеров».

Относительно своей сферы производственных интересов, могу констатировать факт повышения заинтересованности промышленных предприятий в обеспечении работоспособности технологического оборудования импортного производства. Проблемой для многих стал отказ иностранных производителей в текущем, гарантийном и пост гарантийном обслуживании поставленного оборудования, путем поставки запасных деталей и узлов.

К нам обратилась компания, которая занималась поставками американской тяжелой техники для горнорудных предприятий нашей страны. Пустяк, вышел из строя вентилятор охлаждения двигателя внутреннего сгорания (ДВС), но без него огромный трактор работать не будет (см. фото 1). Естественно, поставщик на запрос о поставке нового вентилятора ответил отказом.

Мы предложили вариант замены лопастей вентилятора на новые стеклопластиковые, с гарантией сохранения основных эксплуатационных параметров вентилятора – давление, подача, частота вращения.

Весь ремонт занял меньше недели с учетом необходимости изготовления формы для лопаток, отработки технологического регламента, балансировки колеса и пр. Результат представлен на фото 2.

С новыми лопатками колесо получилось на килограмм легче аналога, что благоприятно скажется на его работе. Кроме того, армированные стек-

лорогожей стеклопластиковые лопатки колеса прочнее и износоустойчивее, чем полиамидные лопатки аналога. Испытания колеса подтвердили его паспортные параметры и высокую надежность работы.



Фото 1



Фото 2.

Следует отметить, что заказов на изделия производственно-технического назначения по теме импортозамещения достаточно много, включая как новые аналоги, так и ремонт существующих конструкций.

Ниже приведены примеры решения аналогичных производственных задач, выполненных специалистами нашей компании (фото 3-6).



Фото 3. Композитная шпала массой 50 кг (бетонная – 300 кг.)



Фото 4. Защита (футеровка) ванн травления химстойким композитом



Фото 5. Стеклопластиковые лопасти градири вместо дюралевых итальянских



Фото 6. Корпус ц/б химстойкого насоса из композита

КАРЬЕРНЫЙ ТРАНСПОРТ И ТРАНСПОРТ НЕФТИ И ГАЗА

***Чтоб дробилки не стояли,
Чтобы фабрика жила,
Чтобы нефть из дальней дали
На заводы потекла,
Чтобы газ был нам подмогой
И в дома нёс благодать –
Надо знать про транспорт много
И уметь его создать!***

Доц. П.А. Жиганов

УДК 629.1.07

К ВОПРОСУ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ

А.А. Жилинков, доцент, канд. техн. наук

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ

Рассмотрены вопросы выбора эксплуатационных параметров карьерных автосамосвалов при работе в составе экскаваторно-автомобильных комплексов. Даны рекомендации по рациональному использованию рассматриваемых машин.

Ключевые слова. Карьерный автосамосвал, экскаваторно-автомобильный комплекс, эксплуатационные параметры, вместимость, грузоподъемность, количество циклов погрузки.

ON THE ISSUE OF CHOOSING RATIONAL OPERATIONAL PARAMETERS OF QUARRY DUMP TRUCKS

A.A. Zhilinkov

The issues of choosing the operational parameters of quarry dump trucks when working as part of excavator-automobile complexes are considered. Recommendations for more rational use of the considered machines are given.

Keywords. Quarry dump truck, excavator-automobile complex, operational parameters, capacity, load capacity, number of loading cycles.

Автомобильный транспорт по сей день является основным видом технологического оборудования при добыче полезных ископаемых на карьерах. В США, Канаде и Южной Америке автомобильные перевозки горной массы составляют 85 %, в Австралии и Южной Африке около 100 %, а в России и странах СНГ удельный вес карьерного автотранспорта 75 %.

При работе экскаваторно-автомобильных комплексов (ЭАК) в конкретных условиях эксплуатации грузоподъемность и вместимость кузова карьерных автосамосвалов ввиду различных форм, размеров и специфики самого груза не всегда используются полностью [1 - 4]. В связи с этим возникает необходимость выбора типа подвижного состава с оптимальным соотношением полезной нагрузки и объема, при соответствии физико-механическим свойствам груза.

Условие соответствия в общем виде определяется следующим образом.

Масса груза в кузове, т:

$$q_{gp} = V_{\phi} \gamma_p, \quad (1)$$

при этом фактический объем груза в кузове, м³:

$$V_{\phi} = V_n k_{zag}, \quad (2)$$

где V_n – геометрический (паспортный) объем кузова, м³; k_{zag} – коэффициент загрузки кузова; $k_{раз}$ – коэффициент разрыхления груза; γ_p – объемная плотность груза в разрыхленном состоянии, т/м³.

Объемная плотность груза в кузове в разрыхленном состоянии (γ_p) определяется по формуле:

$$\gamma_p = \frac{\gamma_m}{k_{раз}}, \quad (3)$$

где γ_m – объемная плотность груза в массиве, т/м³.

Решая выражения (1, 2, 3) совместно получаем зависимость для определения коэффициента загрузки кузова ($k_{заг}$) в зависимости от грузоподъемности и вместимости транспортного средства при перевозке насыпного груза в соответствии со значениями его объемной плотности и коэффициента разрыхления.

$$k_{заг} = \frac{q_n k_p}{V_n \gamma_m}, \quad (4)$$

где q_n – паспортная грузоподъемность автотранспортного средства (по технической характеристике), т.

Коэффициент загрузки ($k_{заг}$) характеризует степень использования объема кузова. При $k_{заг} > 1$ вместимость (объем) кузова используется полностью, а грузоподъемность транспортного оборудования недоиспользуется. При неполном использовании объема кузова допускается загрузка груза с «шапкой» (20 % от V_n), при этом принимается $k_{заг} = 1,2$.

Для условия $k_{заг} < 1$ грузоподъемность кузова транспортного средства используется полностью, а его вместимость недоиспользуется. В этом случае масса груза в кузове принимается равной его паспортной грузоподъемности, то есть $q_г = q_n$.

Оптимальное соотношение между грузоподъемностью и объемом кузова достигается при $k_{заг} = 1$.

Другим важным вопросом при работе ЭАК является выбор такого подвижного состава, у которого вместимость кузова соответствует ёмкости ковша экскаватора, то есть выполняется условие кратности объёмов, когда:

- общее число циклов погрузки находится в пределах 3,0 ... 10,0;
- количество циклов погрузки должно быть целым числом или максимально стремиться к нему.

Количество циклов погрузки можно определить по заданному объёму грузозахватного устройства:

$$n_u = \frac{V_n k_{заг}}{v} = \frac{V_\phi}{v}, \quad (5)$$

где V_ϕ – фактический объём груза в кузове автосамосвала, м³; v – объём ковша экскаватора, м³.

Максимальное количество груза в тоннах, которое будет загружено в кузов автосамосвала экскаватором или другой машиной периодического действия, за расчетное количество циклов, определяется по формуле:

$$q_{зп} = n_u' v \frac{\gamma_m}{k_p}, \quad (6)$$

где $n_{ц}^I$ – принятое к расчету количество циклов.

Проверку правильности выбора погрузочных и транспортных машин можно выполнить путём определения статического коэффициента использования грузоподъемности.

$$\gamma_{cm} = \frac{q_{сп}}{q_n}. \quad (7)$$

Количество автосамосвалов в ЭАК определяется выражением:

$$A_p = \frac{t_p}{t_n}, \quad (8)$$

где t_p – продолжительность (время) рейса одного самосвала, ч; t_n – продолжительность (время) операций при погрузке одного самосвала, ч.

Интервал движения (прибытия) автосамосвалов (I) должен соответствовать времени на выполнение погрузочных операций, то есть $I = t_n$.

Выводы:

1. На выбор таких эксплуатационных параметров как объём (ёмкость) кузова и грузоподъёмность автосамосвала существенно влияют физико-механические свойства груза – объёмная плотность и коэффициент разрыхления.

2. Крайне важно учитывать ёмкости кузова автосамосвала и грузозахватного устройства погрузочной машины периодического действия с целью обеспечения кратности объёмов и целого фиксированного числа циклов погрузки.

3. Выбор рациональных эксплуатационных параметров позволит повысить производительность транспортных машин и всего ЭАК, а также снизить общую себестоимость горных работ.

Список литературы

1. Ржевский В.В. Технология и комплексная механизация открытых горных работ. - М.: Недра, 1980. - 624 с.
2. Васильев М.В. Транспорт глубоких карьеров. М., Недра, 1983. - 296 с.
3. Мельников, Н.В. Краткий справочник по открытым горным работам. – М.: Недра, 1982. – 414с.
4. Мариев П.Л., Кулешов А.А., Егоров А.Н., Зырянов И.В. Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы. – СПб.: Наука, 2004. 429 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ ОТКАЗОВ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ В КРИОЛИТОЗОНЕ

И. В. Зырянов¹, д.т.н., зав. кафедрой, Ю.С. Бочкарев², доцент,

¹Политехнический институт (филиал) СВФУ, г. Мирный, РФ

²Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, г. Якутск, РФ

Рассмотрены вопросы эксплуатации карьерных самосвалов при разработке россыпных месторождений в криолитозоне. Приведены сведения об эффективности их эксплуатации и особенностях условий. Выполнен анализ статистики отказов карьерных самосвалов БелАЗ-7540 в результате, которого установлено, что она имеет сезонную динамику. Наблюдается ежегодная «волна» отказов, пик которой в среднем приходится на июнь-июль. На этой основе разработаны практические рекомендации.

Ключевые слова: россыпные месторождения, карьерный самосвал, количество отказов, безотказность, эффективность, зависимость.

STUDYING SEASONAL DYNAMICS OF FAILURES OF QUARRY DUMP TRUCKS DURING USING ON PLACER DEPOSITS IN THE PERMAFROST ZONE

Igor Vladimirovich Zyryanov, Yuri Semenovich Bochkaryov

This article discusses the issues of using quarry dump trucks on the development of placer deposits in the permafrost zone. Given information about the effectivity of their using and the features of the conditions. The analysis of statistics about failures of BelAZ-7540 dump trucks was carried out as a result of which it was found that it has seasonal dynamics. There is an annual "wave" of failures, the peak of which falls on average in June-July. Practical recommendations have been developed on this basis.

Keywords: placer deposits, quarry dump truck, number of failures, reliability, effectivity, dependence.

Введение. Вектор развития горной промышленности направлен на Север, где наблюдается жесткая зависимость производства от климатических факторов. Россыпи больших размеров (их доля около 30%) разрабатываются открытым раздельным способом с использованием землеройной и автотранспортной техники. Такая технология используется на алмазоносных россыпях Анабарского, Жиганского, Мирнинского и Нюрбинского района разрабатываемых ОАО «Алмазы Анабара», АО «АЛМАР», ПАО «АЛРОСА».

Модельный ряд транспортных средств представлен самосвалами БелАЗ, Caterpillar, Perlini, Howo, Volvo, Scania, КрАЗ, КамАЗ. Более 70% из которых составляют БелАЗы. Эффективность их эксплуатации на россыпных месторождениях в криолитозоне изучена незначительно [1-6].

Основная часть. Эксплуатация карьерных самосвалов на россыпях в криолитозоне имеет существенную специфику, которая влияет на его эффективность. Особенности заключаются в: 1) жестких климатических условиях, где температура воздуха от -57°C до $+30^{\circ}\text{C}$, суточная амплитуда до 20°C в межсезонье; 2) движении по бездорожью и временным автомобильным дорогам с грунтовым покрытием; 3) труднодоступной

местности где, отсутствуют регулярные транспортные сообщения и сети связи; 4) отсутствии постоянного штата рабочих специальностей и водителей из-за вахтового метода работы.

Анализ статистических данных по работе карьерных самосвалов БелАЗ-7540 на горных участках прииска «Маят» за нормативный срок службы (5 лет) показывает, что их производительность в теплое время года (май-сентябрь) снижается более, чем в 1,5 раза, а удельный расход топлива увеличивается в 2 раза (рисунок 1).

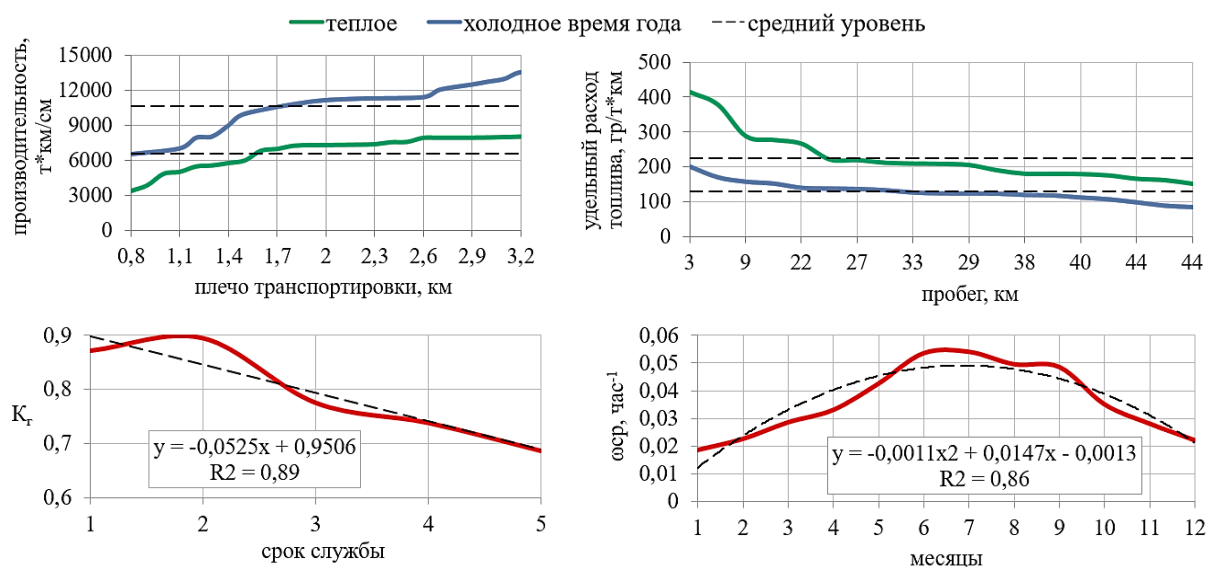


Рисунок 1. Показатели эффективности работы среднесписочного карьерного самосвала БелАЗ-7540 за нормативный срок службы (5 лет)

С апреля по октябрь по мере повышения температуры окружающего воздуха начинается оттайка многолетнемерзлых пород из-за чего на дорогах без покрытий и на рабочих площадках начинают образовываться ямы, выбоины, «мачмала» - дорожные условия ухудшаются.

Безотказность карьерных самосвалов снижается более, чем на 20% и зависит от сезона эксплуатации (рисунок 1). Увеличение коэффициента готовности во второй год связано с устранением «детских болезней»; параметра потока отказов более, чем в 2 раза в теплое время года из-за увеличения количества отказов ходовой части по причине ухудшения дорожных условий. Такое на коренных месторождениях не наблюдается.

Более половины отказов приходится на подвеску, силовую установку и ведущий мост. Количество отказов подвески, ведущего и переднего моста, рулевого управления в теплое время года увеличивается в 2 раза (рисунок 2).

Отказы карьерных самосвалов имеют сезонную динамику, в теплое время года их количество увеличивается, в холодное - снижается (рисунок 3). Наблюдается тенденция повышения количества отказов с увеличением срока службы карьерных самосвалов.

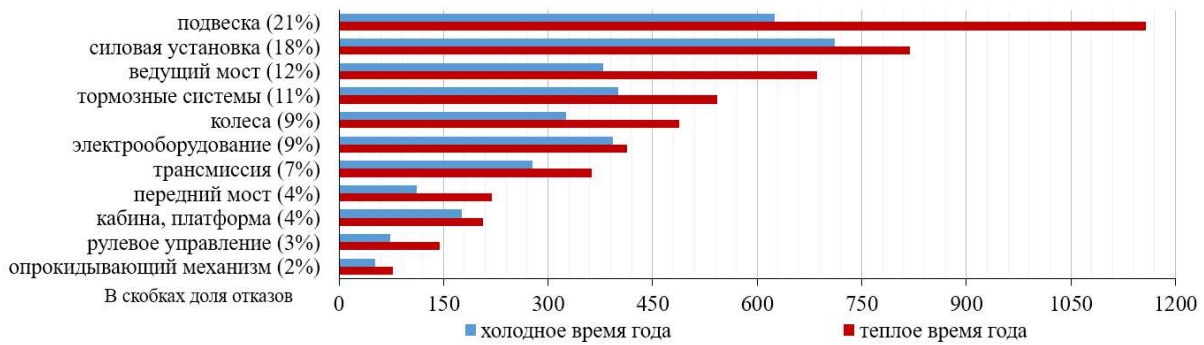


Рисунок 2. Количество отказов узлов и агрегатов карьерных самосвалов БелАЗ-7540 по временам года за 5 лет из расчета на 10 машин

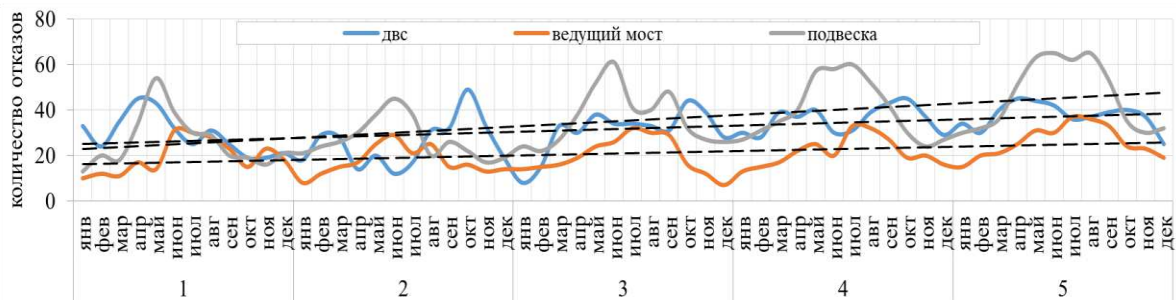


Рисунок 3. Динамика увеличения количества отказов силовой установки (двс), ведущего моста и подвески карьерных самосвалов БелАЗ-7540 за 5 лет из расчета на 10 машин

На графике прослеживаются циклические «всплески» (положительные-отрицательные температуры), временные ряды количества отказов имеют гармонический характер.

Предположим, что способность карьерных самосвалов выдерживать нагрузки (прочность) можно оценивать по количеству отказов. Тогда для оценки их прочности необходимо установить зависимость количества отказов от сезона эксплуатации и срока службы. Для определения этой зависимости по статистическим данным построены графики (рисунок 4).

Количество отказов подвески, передней оси, ходовой части и трансмиссии в теплое время года больше в 2 раза и имеет значительную вариацию. Количество отказов подвески имеет незначительную тенденцию к увеличению разницы между холодным и теплым временем года. Доля дисперсии данных, объясняемая линейной зависимостью для теплого времени года больше в 2-3 раза, чем в холодное. Это показывает, что количество отказов имеет существенную зависимость от условий эксплуатации.

Сравнительно большая амплитуда и периодическое ежегодное изменение количества отказов объясняется ухудшением дорожных условий. Из-за таяния мерзлоты на рабочих площадках несущая способность грунта снижается, образуется грязь. Повышается сопротивление качению колеса. Из-за чего трансмиссия и подвеска воспринимают большие нагрузки при движении в таких условиях. Происходит ускоренное изнашивание деталей ходовой части, не имеющих изолированную систему смазки.

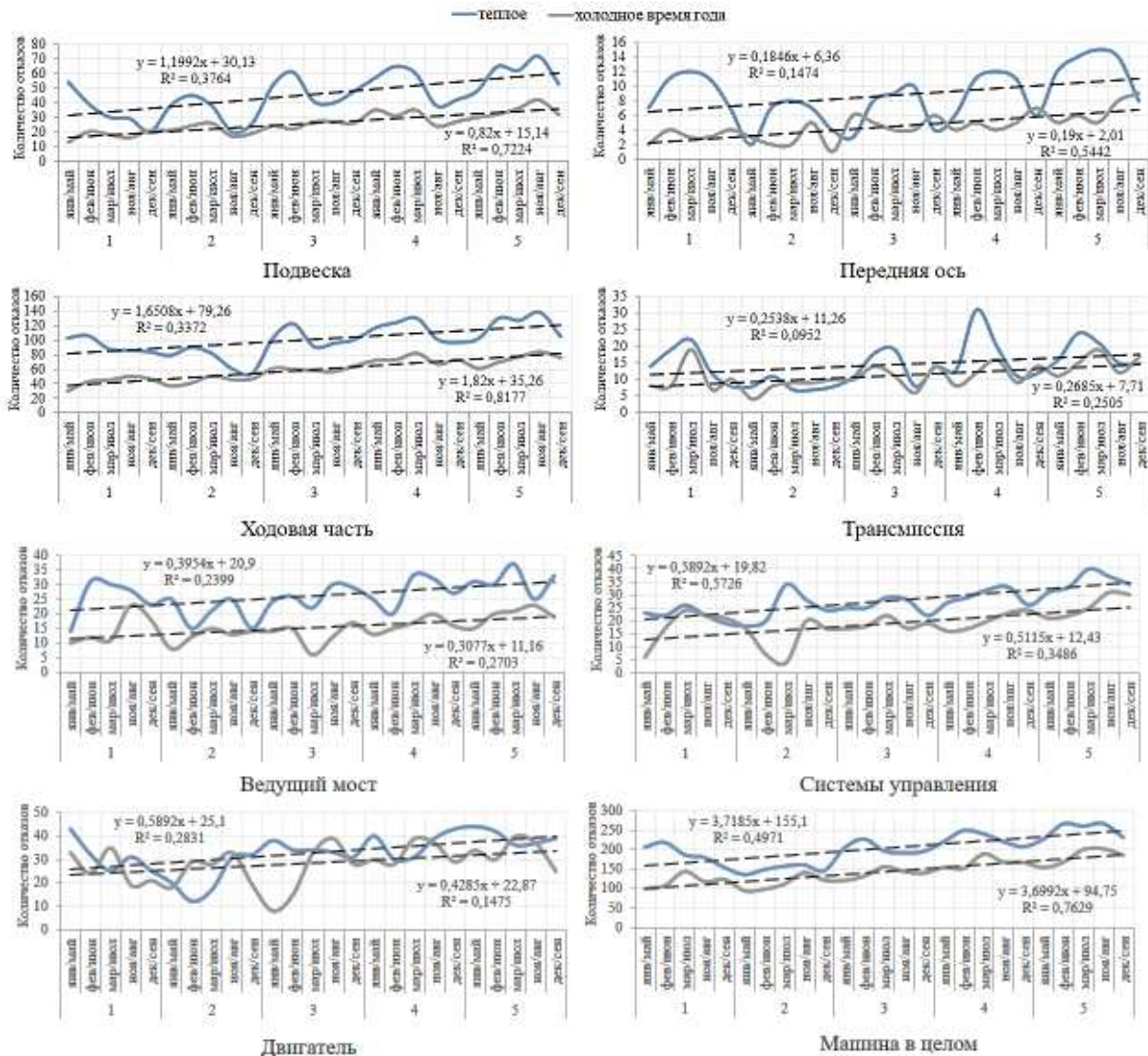


Рисунок 4. Зависимости количества отказов узлов и агрегатов карьерных самосвалов БелАЗ-7540 от сезона эксплуатации и срока их службы

Количество отказов ведущего моста в теплое время года в 2 раза больше, чем холодное. Наблюдается ежегодная «волна» отказов, пик которой в среднем приходится на июнь-июль, как и у рассмотренных выше узлов. В холодное время года «волна» не столь выражена, пик отказов приходится на ноябрь.

Количество отказов систем управления в теплое время года в 2 раза больше, чем холодное. Наблюдается «волна» отказов как в холодное время года, так и в теплое. Пик отказов приходится на июль и ноябрь.

Количество отказов двигателя в теплое и холодное время года примерно одинаково и имеет незначительную тенденцию к увеличению разницы между холодным и теплым временем года. Наблюдается «волна» отказов как в холодное время года, так и в теплое. Пик отказов приходится на июль и ноябрь. Примечательно резкое почти четырехкратное «уменьшение-увеличение» количества отказов в конце второго и начале третьего

года службы, которое объясняется устранением «детских болезней», проявляющихся в виде течей прокладок, сальников, радиаторов, патрубков.

Результаты. Анализом статистических данных установлено, что безотказность карьерных самосвалов БелАЗ-7540 за нормативный срок службы (5 лет) снижается более, чем на 20 % и зависит от сезона эксплуатации (параметр потока отказов в теплое время года увеличивается почти в 3 раза). Это приводит к снижению их производительности в теплое время года более чем в 1,5 раза. Более половины (51 %) отказов приходится на двигатель, подвеску и ведущий мост.

Исследование динамики количества отказов показало, что их зависимость от сезона эксплуатации и срока службы существенна. Наблюдается тенденция их увеличения в 1,5-2 раза в теплое время года и во столько же раз за нормативный срок службы. Отказы имеют сезонную динамику. Повышение количества отказов в теплое время года объясняется ухудшением дорожных условий.

Заключение. Повышения эффективности эксплуатации карьерных самосвалов можно достичь за счет: 1) модернизации конструкции уплотнений шарнирных соединений гидроцилиндров подвески и рулевого управления для предотвращения абразивного износа из-за попадания грязи; 2) модернизации конструкции чехлов (пыльников) штоков гидроцилиндров подвески и рулевого управления для лучшей защиты рабочих поверхностей от абразивного действия грязи; 3) оснащения встроенными системами оповещения водителя о неверно выбранной передаче для предотвращения чрезмерной нагрузки на трансмиссию; 4) максимального использования их грузоподъемности при транспортировании горной массы с различной плотностью.

Список литературы

1. Карьерный автотранспорт стран СНГ в XXI веке / Мариев П.Л., Кулешов А.А., Егоров А.Н., Зырянов И.В. - СПб.: Наука, 2006. - 387 с.
2. Потапов М.Г. Направления развития карьерного транспорта // Горная промышленность. - 2002. - №6. URL
3. Бахтурин Ю.А. Современные тенденции развития карьерного транспорта // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2009. - №7. - С. 403-414.
4. Ермаков С.А., Потехин А.В. Анализ применяемых способов разработки и оборудования на россыпных месторождениях Якутии. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. № S7. С. 218-224.
5. Костромин М.В. Математическое моделирование производства вскрышных работ при разработке россыпных месторождений / М.В. Костромин, Ю.Т. Попова // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов : XV Международная научно-практическая конференция: сб. ст. в 3 ч., Чита, 30 ноября, 2015 года. Том 3. – Чита: Забайкальский государственный университет, 2015. - С. 23-26.
6. Бабий Ю.И., Москалевич В.И., Пятаков В.Г. Возможности использования полученных дистанционным способом технико-экономических показателей работы горнотранспортного оборудования на россыпях // Иркутск: АО «Иргиредмет» Золотодобыча. - №1-3. 2022. С. 278, 279, 280.

УДК 622.684

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОАККУМУЛЯТОРНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ В КАРЬЕРНОЙ ВЫЕМОЧНО-ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЕ

Е. Д. Кардашин, инженер

ФГБУН «Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук»
(ИГД УрО РАН), г. Екатеринбург, Россия

Представлены результаты исследований по возможности использования аккумуляторов в выемочно-транспортных машин при добыче полезных ископаемых

Ключевые слова: Карьерный самосвал, фронтальный погрузчик, аккумулятор, карьерный транспорт, выемочное оборудование.

THE POSSIBILITY OF USING AN ELECTRIC ACCUMULATOR POWER UNIT IN A QUARRY DREDGING AND TRANSPORTING MACHINE

E. D. Kardashin

This article presents the results of research on the possibility of using batteries in quarry dredging and loading transport vehicles during mining.

Keywords: Quarry dump truck, front loader, battery, quarry transport, excavation equipment.

Одним из наиболее затратных процессов открытой добычи полезных ископаемых является карьерный транспорт. В связи с этим актуальной является проблема снижения себестоимости транспортирования горной массы при разработке месторождений полезных ископаемых для повышения полноты извлечения руды открытым способом за счет достижения больших глубин. Одним из направлений ее решения является применение более дешевых видов транспорта [1], обеспечивающих снижение себестоимости и как следствие граничного коэффициента вскрыши. Из известных промышленно применимых видов транспорта таковыми являются конвейерный транспорт, карьерные канатные подъемники (в т.ч. грузовая подвесная канатная дорога), конвейерные поезда [2]. Однако особенность их применения состоит в стационарности, а, следовательно, необходимости применения сборочного транспорта. При этом для максимального экономического эффекта перегрузочный пункт со сборочного на магистральный транспорт должен подвигаться 1-2 раза в год, обеспечивая минимальное расстояние доставки сборочным транспортом в пределах 0,5-2 км, максимум 3 км.

В этих условиях, учитывая высокую динамику подвигания горных работ, стесненность рабочей зоны, содержание экскаваторно-автомобильного комплекса может не отвечать требованиям минимальной себестоимости. Вариант технологического решения – использование выемочно-доставочных машин, осуществляющих выемку из забоя и доставку

до перегрузочного пункта. Технологические и технико-экономические расчеты [3] показали, что применение современных мощных погрузчиков может обеспечить технико-экономическое преимущество такой схемы, хотя и имеет ряд ограничений.

В качестве варианта альтернативного решения разработана концепция специальной карьерной выемочно-транспортной машины в карьерном исполнении – ВТМк, совмещающей функции фронтального погрузчика и карьерного автосамосвала (рисунок 1, таблица 1) [4]. Она способна осуществлять загрузку собственной грузовой платформы имеющимся ковшом типа фронтального погрузчика и транспортировать горную массу по автодорогам. Согласно расчетам [4] совмещение функций выемки и транспортирования в одной машине может обеспечить экономию за счет замены более дорогостоящего экскаваторно-автомобильного комплекса и соответственно меньшей в 1,5-4 раза металлоемкости и до 2,5 раз капиталоемкости при ограниченной годовой производственной мощности и дальности транспортирования. Граница экономичной зоны применения ВТМк описывается прямой в координатах «годовая производительность(Q)–расстояние транспортирования(L)», проходящей через точки (Q= 5 млн.т; L=9 км) и (Q=20 млн.т; L=4 км)».

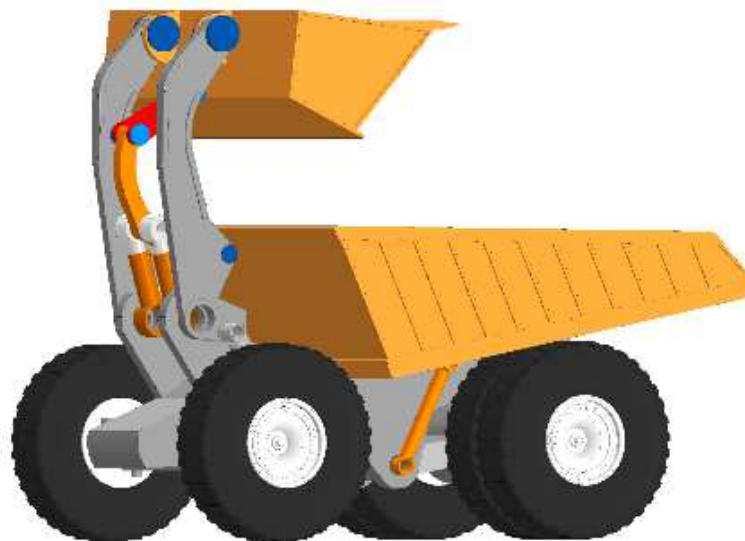


Рисунок 1 – Общий вид ВТМк

Учитывая размещение в передней части ВТМк выемочного рабочего оборудования, машина обладает малым свободным объемом для размещения энергосиловой установки. Из этого появилась необходимость в использовании аккумуляторных батарей, которые могут быть размещены распределенно по всему корпусу.

По выполненным расчетам можно сделать вывод, что при увеличении высоты подъема в два раза (с 50 до 100 метров) требуемая энергоемкость аккумулятора возрастает на 86%. Это объясняется использованием рекуперации энергии при движении ВТМк на спуск.

Таблица 1 – Расчетные технические характеристики ВТМк-90

Параметр	Значение
Вместимость ковша, м ³	10
Грузоподъемность ковша, т	20
Усилие напора (в числителе) и подъема (в знаменателе) на кромке ковша в опущенном положении, кН	<u>Порожний 491 (Груженный 932)</u> 400
Вместимость грузовой платформы, м ³	43-47 («с шапкой»)
Грузоподъемность грузовой платформы, т	$m_r = 90$
Снаряженная масса, т	$m_{сн} = 100$
Габаритные размеры, мм (ДхШхВ): - с опущенным ковшом - с разгружаемым ковшом - в транспортном положении	14 200 x 5 700 x 4 500 11 100 x 5 700 x 8 700 11 800 x 5 700 x 4 500
Мощность энергосиловой установки, кВт	$N_{ЭСУ} = 800-1000$
Максимальная скорость, км/ч	60
Энергосиловая установка	Электромеханическая трансмиссия. Источник энергии – аккумуляторная батарея:
Система управления	Роботизированный комплекс. Кабина водителя не предусмотрена
Прототипы	Карьерный автосамосвал БелАЗ-7558: $N_{ЭСУ} = 783$ кВт; $m_{сн} = 80,15$ т; $m_r = 90$ т Погрузчик БелАЗ-7825: $N_{ЭСУ} = 783$ кВт; $m_{сн} = 110$ т

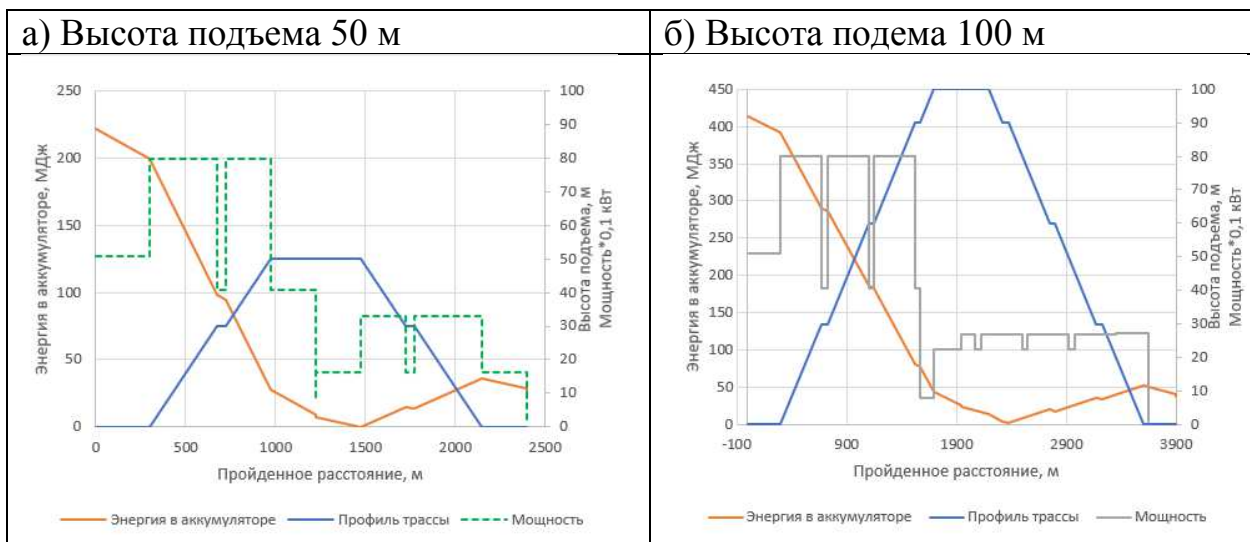


Рисунок 2 – Графики потребления энергии аккумулятора по мерид движения по трассе от погрузки к разгрузке и обратно

Выводы

1. Сложность размещения дизель-генератора достаточной мощности в ограниченном межрамном пространстве ВТМк делает вариант аккумуляторной энергосиловой установки преимущественным за счет возможности распределенного их размещения.

2. Использование рекуперации энергии при движении ВТМк на спуск позволяет уменьшить требуемую энергоемкость аккумулятора на 10-15 %, а с увеличением высоты подъема с 50 до 100 м сдерживает рост требуемой энергоемкости аккумулятора на 15 %.

Список литературы

1. Журавлев А.Г. Перспективные технологии транспортирования для глубоких карьеров / Журавлев А.Г., Глебов И.А., Семенкин А.В., Чендырев М.А. // **Бюллетень научно-технической и экономической информации "Черная металлургия"**. – 2021. – №5. – С. 518-528.

2. Чендырев, М. А. Комплексная модель для обоснования параметров автомобильного карьерного подъемника / М. А. Чендырев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – № S37. – С. 282-289. – DOI 10.25018/0236-1493-2019-11-37-282-289.

3. Журавлев А.Г. Граничные технико-экономические показатели применимости фронтальных погрузчиков при работе в качестве выемочно-транспортных машин / Журавлев А.Г., Черных В.В. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022 – Т. 333 – № 5 – С. 186–195. DOI: 10.18799/24131830/2022/5/3500.

4. Журавлев А.Г., Кардашин Е.Д. Концепция карьерной выемочно-транспортной машины / А.Г. Журавлев, Е.Д. Кардашин // Проблемы недропользования. – 2022. – №4. – С. 94-104. DOI: 10.25635/2313-1586.2022.04.094

УДК 622.271

РАЦИОНАЛЬНОЕ СООТНОШЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭКСКАВАТОРНО-АВТОМОБИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

А.А. Жилинков¹, А.П. Комиссаров^{1,2}, О.С. Некрасова¹, А.Г. Попов¹

¹ Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, РФ

² Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, РФ

В работе рассмотрены соотношения между основными параметрами экскаваторно-автомобильных комплексов. Показано, что при возрастании производительности экскаваторно-автомобильных комплексов соотношение между параметрами карьерных экскаваторов и автосамосвалов существенно изменяется. Обосновано рациональное соотношение между вместимостью ковша экскаватора и грузоподъемностью автосамосвалов исходя из условия повышения производительности экскаваторно-автомобильного комплекса.

Ключевые слова. Экскаваторно-автомобильный комплекс, производительность, параметры, ковш, кузов, грузоподъемность.

RATIONAL CORRELATION OF THE MAIN PARAMETERS OF EXCAVATOR AND CAR COMPLEXES

A.A. Zhilinkov, A.P. Komissarov, O.S. Nekrasova, A.G. Popov

The paper considers the relationship between the main parameters of excavator-automobile complexes. It is shown that with an increase in the productivity of excavator-automobile complexes, the ratio between the parameters of mining excavators and dump trucks changes significantly. A rational relationship between the capacity of the excavator bucket and the load capacity of dump trucks is substantiated based on the condition for increasing the productivity of the excavator-automotive complex.

Keywords. Excavator-automotive complex, performance, parameters, bucket, body, load capacity

Экскаваторно-автомобильные комплексы являются основным видом технологического оборудования на открытых горных работах. Эффективность применения экскаваторно-автомобильных комплексов зависит, прежде всего, от соотношения вместимости ковша экскаватора и грузоподъемности автосамосвала.

В настоящее время это соотношение обеспечивается при условии погрузки кузова в 3-5 циклов экскавации [13] или 4-6 циклов [3]. Однако с ростом единичной мощности экскаваторов это соотношение будет изменяться, так как рост параметров экскавационного оборудования опережает рост параметров автотранспорта.

Основными факторами, определяющими эффективность применения экскаваторно-автомобильных комплексов, являются:

- высота обрабатываемого уступа (высота развала взорванной горной массы), определяющая объем горных работ и затраты на их проведение);
- размеры рабочей зоны экскаватора и вместимость ковша;
- грузоподъемность автосамосвала и вместимость кузова.

В работе выполнен сравнительный анализ функционирования вариантов экскаваторно-автомобильных комплексов:

I вариант: экскаватор ЭКГ-12 производства ПАО «Уралмашзавод» и автосамосвал БЕЛАЗ – 7513 (погрузка кузова автосамосвала за 5,5 цикла экскавации);

II вариант: экскаватор ЭКГ-20 производства ПАО «Уралмашзавод» и автосамосвал БЕЛАЗ – 75180 (погрузка кузова за 4,5 цикла экскавации).

Таблица 1 - Характеристика экскаваторно-автомобильных комплексов

Параметры	ЭАК-1		ЭАК-2	
	ЭКГ-12	7513	ЭКГ-20	75180
Полезная нагрузка в ковше, т	24		40	
Максимальная высота копания, м	15		17	
Грузоподъемность, т		130		180
Мощность двигателя, кВт	1250	1194	2250	1491
Рабочая (эксплуатационная) масса, т	600	110	1050	145
Расчетное время цикла, с	27		28	
Максимальная скорость, км/ч		64		60
Удельная мощность		$\frac{1194}{240} = 4,98$		$\frac{1491}{325} = 4,59$
Тип трансмиссии		электро-механическая		электро-механическая

Выполнены тяговые и эксплуатационные расчеты автотранспорта.

Дорожные условия и режимы движения автотранспорта по различным участкам трассы приняты идентичными.

При расчетах полного времени цикла (рейса) скорости движения автосамосвалов определялись с учетом удельной мощности двигателей, т.е. мощности, отнесенной к массе груженого автомобиля.

Рабочий парк автосамосвалов, необходимый для обеспечения заданного грузооборота, определяется по величине сменной производительности карьера.

Исходные данные для расчетов:

- мощность карьера по горной массе составляет 30 млн.т./год;
- сменная производительность карьера $Q_{см} = 50000$ т/смену;
- время движения автосамосвала БЕЛАЗ-7513 (с большей удельной мощностью) принимаем $T_{дв} = 50$ мин.

Результаты расчетов приведены в табл.2

Таблица 2 – Показатели функционирования ЭАК

Показатели	ЭАК-1	ЭАК-2
Время погрузки, мин	2,4	2,1
Время движения автотранспорта, мин	50	54,2
Время рейса автосамосвала с учетом затрат времени на разгрузку и на маневры, мин.	56,6	60,5
Сменная производительность автосамосвала, т/см	1378	1785
Рабочий парк автосамосвалов	36,3	28
Суммарная масса автотранспорта, т,	3993	4060
Суммарная мощность двигателей, МВт	43,3	41,7

На основании выполненного технико-экономического анализа вариантов экскаваторно-автомобильных комплексов: I – экскаватор ЭКГ-12 (УЗТМ) и автосамосвал БЕЛАЗ 7513 и II – экскаватор ЭКГ-20 (УЗТМ) и автосамосвал БЕЛАЗ 75180 можно сделать следующие выводы:

1. Использование в экскаваторно-автомобильных комплексах технологического оборудования повышенной единичной мощности обеспечивает рост производительности комплекса при сокращении рабочего парка автосамосвалов;

2. Применение карьерных экскаваторов с повышенными размерами рабочей зоны (радиус и высота копания) позволяет снизить затраты на передвижку автодорог, а также за счет увеличения высоты отрабатываемых уступов снизить объем горных работ при разработке месторождения полезных ископаемых;

3. Повышение производительности функционирования экскаваторно-автомобильного комплекса (II вариант) достигается увеличением грузоподъемности автосамосвала.

Список литературы

1. Анистратов Ю.И., Анистратов К.Ю. Технологические процессы открытых горных работ. - М.: ООО НТЦ «Горное дело», 2008. – 448 с.
2. Владимиров Д.Я., Клебанов А.Ф., Кузнецов И.В. Цифровая трансформация открытых горных работ и новое поколение карьерной техники // Горная промышленность. – 2020. – № 6. – С. 10 – 12.
3. Галкин В.И., Шешко Е.Е. Транспортные машины: Учебник для вузов. – М.: Изд-во «Горная книга», Изд-во МГГУ. – 2010. – 588 с.: ил. – (Горное машиностроение)
4. Demirel N., Taghizadeh A. et al. Optimization of the Excavator-and-Dump Truck Complex at Open Pit Mines – the Case Study. E3S Web Cont., Vol 41, 2018.
5. Каталог ОАО «БЕЛАЗ». Основная продукция. 2016 – 2017 г.г., г. Жодино.
6. Kolesnikov V.F., Cehlar M., Tyuleneva E.A. Overview of excavation and loading operations in the coal-bearing zones at Kusbass open pit mines // Journal of Mining and Geotechnical Engineering. – 2018. – № 2. – Pp. 36 – 49.
7. Кузнецов И.С. Компьютерная система имитационного моделирования для оптимизации параметров экскаваторно-автомобильных комплексов / И.С. Кузнецов, В.В. Зинovieв, А.Н. Стародубов // ГИАБ. – 2022. – № 6 – 1. С. 304 – 316.
8. Litvin O., Tyuleneva E., Kolesnikov V., Dobrov A. Coal-bearing zone transformation into a coalless one at the open pit / E3S Web of Cont., 2018. – Vol. 41.
9. Мерзляков В.Г., Слесарев Б.В., Штейнцайг В.М. Опыт применения карьерных гидравлических экскаваторов Komatsu Mining Germany на предприятиях России // Горное оборудование и электротехника. – 2013. – № 5. – С. 15 – 20.
10. Подэрни Р.Ю. Механическое оборудование карьеров. - М.: Изд-во МГГУ. – 2007. – 608 с.
11. Подэрни Р.Ю. Мировой рынок поставок современного выемочно-погрузочного оборудования для открытых горных работ // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 2. – С. 148 – 167.
12. Репин Н.Я., Репин Л.Н. Выемочно-погрузочные работы: Учебное пособие. 2-е изд. стер. – М.: Изд-во «Горная книга», 2012. – 267 с.
13. Самолазов А.В., Паладеева Н.И., Беликов А.А. Основные тенденции развития экскаваторно-автомобильных комплексов // Горная промышленность. – 2009. - № 4. С. 20 – 23.

УДК 629.365

ПРОХОДИМОСТЬ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОГО ТРАНСПОРТА

В. А. Леонов¹, М.Л. Хазин²

¹ООО ЕЗСМ «Континент», г. Екатеринбург, РФ

²ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ

Особенностью современного периода является постепенное усложнение горно-геологических условий месторождений и смещение горных работ в удаленные северные районы. Преобладающим рельефом является холмисто-грядовая озерно-болотистая местность, которая затрудняет движение транспорта. Все это делает арктические и северные территории достаточно труднодоступными для ведения геологоразведочных работ. К геологоразведочной технике предъявляются особые технические требования: обеспечение высокой проходимости по слабонесущим грунтам (снего-, болотоходность). Для решения этих задач наиболее эффективны гусеничные вездеходы, которые обладают нужной проходимостью и грузоподъемностью. Однако при перемещении гусеничных вездеходов они оказывают на почву негативное воздействие. Особенно вредно это воздействие для северных лесов, тундры, лесотундры.

Ключевые слова: горные работы, геологоразведочный транспорт, слабонесущий грунт, проходимость

PASSABILITY OF GEOLOGICAL EXPLORATION TRANSPORT

V. A. Leonov, M. L. Khazin

A feature of the modern period is the gradual complication of the mining and geological conditions of deposits and the shift of mining operations to remote northern regions. The prevailing relief is hilly-ridged lacustrine-swampy terrain, which hinders traffic. All this makes the Arctic and northern territories rather difficult to access for geological exploration. Special technical requirements are imposed on geological exploration equipment: ensuring high cross-country ability on weakly bearing soils (snow, swamp). To solve these problems, tracked all-terrain vehicles are the most effective, which have the necessary cross-country ability and carrying capacity. However, when moving tracked all-terrain vehicles, they have a negative impact on the soil. This effect is especially harmful for northern forests, tundra, and forest-tundra.

Keywords: mining, exploration transport, weakly bearing soil, passability

Особенностью современного периода является постепенное усложнение горно-геологических условий месторождений и смещение горных работ в удаленные северные районы [1, 2]. Природные, климатические и дорожные условия арктических и северных территорий значительно отличаются от других регионов России суровым климатом и низкой плотностью дорожной сети. Преобладающим рельефом материковой части является холмисто-грядовая озерно-болотистая местность [3, 4]. Все это делает арктические и северные территории достаточно труднодоступными для ведения геологоразведочных работ.

Наиболее распространенным средством транспортировки грузов в рассматриваемых условиях являются гусеничные тягачи. Хотя гусеничная техника лучше всего подходит для арктических и северных районов, именно она наносит значительный вред природе, повреждая тонкую почву тундры. Каждый проезд гусеничной машины по тундре разрушает ее, образуя колею и обнажая мерзлый грунт. На почве остаются черные рубцы постепенно заполняющиеся водой начавшего таять мерзлотного горизонта

и колея заболачивается, а в зимние морозы - расширяется. Для восстановления таких нарушенных участков тундры требуется от пяти до нескольких десятков лет.

Основными факторами, связанными с машиной, определяющими степень ее воздействия на почву, являются контактное давление и глубина образующейся колеи [5, 6]. Величину деформации сжатия элементарного слоя грунта (dh_c) можно выразить зависимостью [7]

$$dh = \frac{p_s}{p_s - p} \cdot dh_c, \quad (1)$$

где p_s - несущая способность грунта, p - среднее давление движителя по пятну контакта.

Для определения суммарной деформации грунта, складывающейся из сжатия и осадки, вызванной сдвигом, проинтегрируем выражение (1) по вертикальной координате z [7]:

$$h = \frac{p_s}{p_s - p} \cdot \frac{Jpab}{E} \operatorname{arctg} \left(\frac{H - h}{ab} \right). \quad (2)$$

где σ - нормальное сжимающее напряжение в грунте, вызванное воздействием движителя, E - модуль общей деформации грунта, p - среднее давление движителя по пятну контакта, коэффициент учёта геометрии пятна контакта, J - коэффициент учёта геометрии пятна контакта, H - толщина деформируемого слоя грунта, a - коэффициент учёта мощности деформируемого слоя грунта, b - ширина пятна контакта.

Уравнение (2) стало классическим при составлении математических моделей взаимодействия движителей машин с опорными поверхностями.

Впоследствии были представлены другие уравнения осадки почвогрунта h , например [8]

$$h = \left[\frac{2ab\beta}{E_0 \sqrt{4 \frac{a}{\mu} - \mu^2 (a-1)^2}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{4 \frac{a}{\mu} - \mu^2 (a-1)^2}}{a + \mu(a-1)} \right] \cdot \frac{p_0 p_s}{p_s - p_0}. \quad (3)$$

где $a = \frac{l}{b}$, $\beta = 1 - \frac{2\mu^2}{1-\mu}$, p - среднее давление движителя по пятну та $p = \frac{W}{2bl}$, W - вес гусеничной машины, E_0 - модуль деформации грунта при отсутствии сдвигов,

Обозначив $\gamma = \sqrt{4 \frac{a}{\mu} - \mu^2 (a-1)^2}$ получим

$$h = \frac{2l\beta}{\gamma E_0} \cdot \frac{q_0 q_s}{q_s - q_0} \cdot \operatorname{arctg} \frac{\gamma}{a + \mu(a-1)}. \quad (4)$$

Формула (4) учитывает влияние на деформацию грунта свойства собственно грунта (μ , β , E_0 , q_s) и параметры гусеничной машины (b , l , q).

Рассмотрим наиболее современные гусеничные транспортеры, предлагаемые производителями для работы в Арктических и северных районах: вездеход ТМ140 (ОСП ООО «ПК «Промтрактор»), снегоболотоход ТГ-126-09 «ЛИНКОР» (Иркутский Завод Гусеничной Техники (ИЗГТ)), вездеход ТСГ-2500 (ООО «Континент») (таблица). Наиболее интенсивные работы проводятся в весенне-летний период. Но в это время почва тундры оттаивает и становится наиболее уязвимой. Глубина колеи, после проезда гусеничных машин по грунтам различной категории представлена на рисунке.

Технические характеристики гусеничных машин

Параметры	Снегоболотоход ТГ-126-09	Вездеход ТМ-140	Вездеход ТСГ-2500
Мощность, кВт	228	184	176
Эксплуатационная масс, кг	12000	13200	14910
Масса полезного груза, кг	5 500	500	10000
Вместимость кабины, чел.	4 - 8	7	
Удельное давление на грунт, кгс/см ²	0,5	0,26	0,22

Примечание: технические характеристики гусеничных машин взяты с сайта компаний

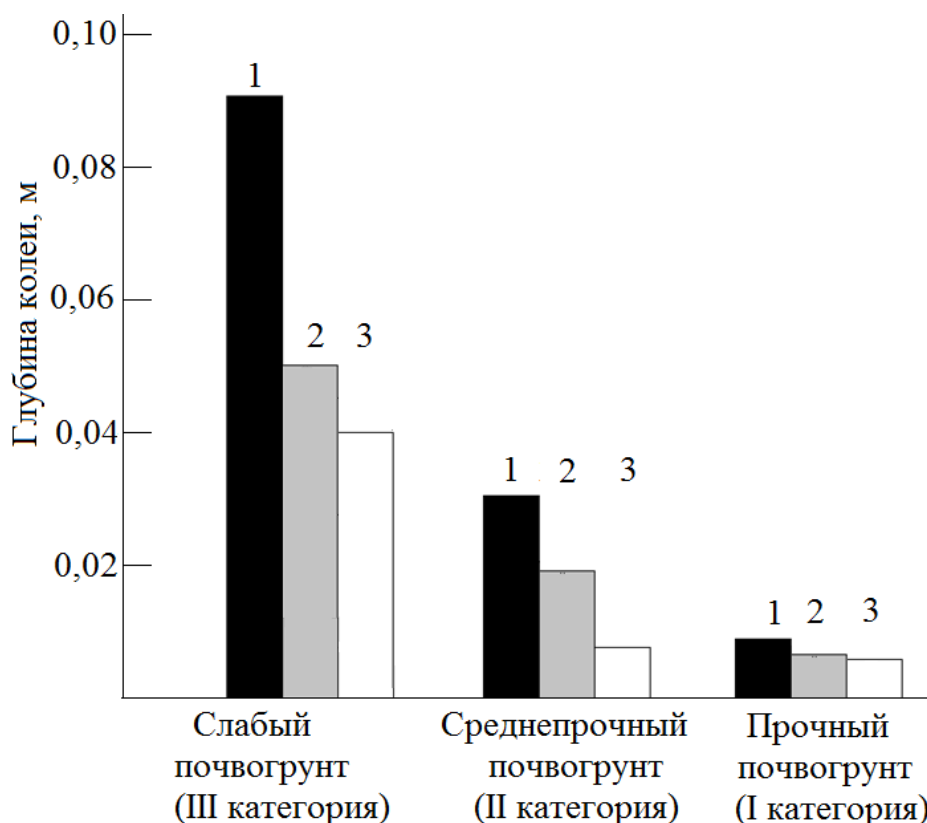


Рис. Глубина колеи, после проезда гусеничных машин:

1 - Снегоболотоход ТГ-126-09 «ЛИНКОР»; 2 - Вездеход ТМ-140; 3 - вездеход ТСГ-2500 «Континент»

Наименьшая глубина колеи соответствует вездеходу ТСГ-2500, следовательно, он будет наносить наименьший урон экосистеме тундры и заполярья.

Список литературы

1. Heikkinen H. I. Lépy É., Sarkki S., KomuT. Challenges in acquiring a social licence to mine in the globalising Arctic // *Polar Record*. 2016. Vol. 52. no. 4. pp. 399-411. doi.org/10.1017/S0032247413000843
2. Кузнецов Д. В., Одаев Д. Г., Линьков Я. Е. Особенности выбора технологического автотранспорта для разработки глубоких карьеров Севера // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2017. № 5. С. 54–65.
3. Андреичева Л. Н. Ледниковый генезис валунных суглинков на севере большеземельской тундры // *Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН*. 2018. № 1. С. 3-11. DOI: 10.19110/2221-1381-2018-1-3-11
4. Леонов В. А., Хазин М.Л. Проходимость гусеничной машины по пересеченной местности // *Известия ВУЗов. Горный журнал*. 2021. № 1. С. 107–114. DOI: 10.21440/0536-1028-2021-1-107-114
5. Kormanek M., Dvořák J. Ground Pressure Changes Caused by MHT 8002HV Crawler Harvester Chassis // *Croatian Journal of Forest Engineering*. 2021., Vol. 42 No. 2, pp. 201-211. doi: 10.5552/crojfe.2021.844
6. Бурмистрова О. Н, Чемшикова Ю. М., Григорьев И. В., Рудов С. Е., Куницкая О. А. Аспекты исследования взаимодействия гусеничного движителя вездеходных машин со слабонесущим почвогрунтом // *Resources and Technology*. 2020. т. 17. № 1. С. 29-62. DOI: 10.15393/j2.art.2020.5142
7. Агейкин Я. С. Проходимость автомобилей. М.: Машиностроение, 1981. 232 с.
8. Лобанов В.Н., Растягаев В.И., Сухов С.С. К вопросу эксплуатации гусеничных машин спасательной техники на слабых грунтах // *Вестник БГУ*. 2011. № 4. С. 193-196.

УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АВТОПОЕЗДА С ОДНООСНЫМ ПРИЦЕПОМ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ТЯГОВО-СЦЕПНОГО УСТРОЙСТВА С РЕГУЛИРУЕМОЙ ДЛИНОЙ ТЯГОВОГО РЫЧАГА

Ю.Н. Строганов, к.т.н., доцент, **А.Ю. Михеев**, аспирант,

Е.М. Пампура, старший преподаватель

Уральский Федеральный Университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

Габаритные размеры автопоезда по длине во многом определяют его технические и эксплуатационные свойства. Для автопоезда с одноосным прицепом габаритная длина значительно зависит от длины тягового рычага прицепа. С одной стороны, расстояние между тягачом и прицепом должно обеспечивать возможность криволинейного движения автопоезда, с другой стороны, увеличение этого расстояния способствует изменения эксплуатационных показателей при движении. Одним из возможных решений может являться применение тяговых устройств изменяемой длины.

Ключевые слова: одноосный прицеп, длина тягового рычага, длина автопоезда, поворот автопоезда, угол складывания.

IMPROVING OPERATIONAL PERFORMANCE ROAD TRAINS WITH A SINGLE- AXLE TRAILER BY APPLICATIONS OF THE TRACTION LEVER OF ADJUSTABLE LENGTH

Stroganov Y.N., Mikheev A.Y., Pampura E.M.

One of the main directions of development of road trains is to solve the problem of the length of the road train. On the one hand, the distance between the car and the trailer should provide the possibility of curved movement of the road train, on the other hand, increasing this distance contributes to a decrease in operational performance during rectilinear movement. One of the possible solutions may be the use of traction devices of variable length.

Keywords: single axle trailer, length of traction device, length of the road train, turning the road train, folding angle.

Автомобильные одноосные прицепы находят широкое применение при комплектовании автомобильных поездов как с грузовыми, так и с легковыми автомобилями. Одноточечное шарнирное соединение одноосного прицепа с тягачом обеспечивает автопоезду более высокие показатели [1,2] по маневренности и управляемости по сравнению с автопоездами комплектуемыми двухосными прицепами.

Тягово-сцепное устройство автопоезда с одноосным прицепом содержит два основных звена, соединенных шарнирно, это – буксирное устройство тягача и дышло, жестко соединенное с рамой прицепа, при этом длина дышла L_d (Рис.1) принимается как расстояние от переднего борта прицепа до точки шарнирного соединения с тягачом.

ГОСТ Р 52281-2004 «Прицепы и полуприцепы автомобильные» регламентирует размеры и расположение тягово-сцепных устройств прицепов, при этом минимальная длина тягового рычага должна быть такой, чтобы при поворотах автопоезда (при движении вперед) соблюдались расстояния между тягачом и прицепом не менее 80мм и

исключалось касание прицепа с тягачом при любых углах поворота. Длина тягового рычага для прицепов при проектировании и производстве выбирается максимальной и имеет неизменяемый размер, обеспечивающий беспрепятственное складывание звеньев транспортного поезда при любых малых радиусах поворота в условиях использования на дорогах. При этом, наибольшая длина тягового рычага необходима только при малых радиусах поворота, а при прямолинейном движении такой размер длины дышла не требуется.

Уменьшение длины тягового рычага прицепа при прямолинейном движении возможно путем применения тягово-сцепных устройств (ТСУ), автоматически изменяющих длину тягового рычага на повороте. Применение таких тягово-сцепных устройств на автопоездах даст возможность сократить габаритную длину автопоезда на величину уменьшения размера тягового рычага при прямолинейном движении. Ряд технических предложений по решению задачи регулирования длины дышла и габаритной длины автопоезда представлен в запатентованных авторами технических решениях ТСУ [3,4,5].

Рассмотрим аналитические зависимости требуемой длины дышла L_d от угла отклонения продольной оси прицепа от продольной оси тягача φ , (далее угла складывания автопоезда), при минимально допустимом расстоянии между тягачом и прицепом z (Рис. 1). Для анализа характера изменения L_d от φ принимаем диапазон изменения угла от нулевого значения при прямолинейном движении автопоезда до угла складывания, равного 75 градусам.

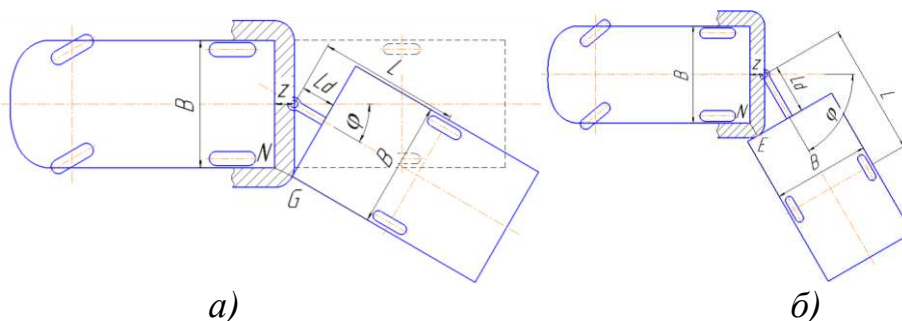


Рис.1. Положение тягача и прицепа при повороте автопоезда.

Допускаем, что движение происходит на жесткой поверхности, без боковых колебаний, боковой увод шин отсутствует, шарнирные соединения беззазорного типа, габаритная ширина прицепа и тягача B приняты одинаковыми, минимальное расстояние между тягачом и прицепом z при любых углах складывания принимаем постоянным.

При малых значениях угла φ (рис. 1а), когда угол между передним боковым бортом прицепа не выходит за пределы габаритной ширины тягача, минимальная допустимая величина z определяется расстоянием между углом, образованным продольной и поперечной вертикальными плоскостями, ограничивающими габариты тягача, и углом, образованным передним и боковым бортом прицепа (между точками N и G).

$$NG = \sqrt{\left(z + L_d \cos\varphi - \frac{B}{2} \sin\varphi\right)^2 + \left(L_d \sin\varphi + \frac{B}{2} \cos\varphi - \frac{B}{2}\right)^2} \quad (1)$$

Полагая в этом равенстве $NG = z$, получаем уравнение

$$L_d^2 + L_d(2z \cos\varphi - B \sin\varphi) + \frac{B^2}{2}(1 - \cos\varphi) - zB \sin\varphi = 0 \quad (2)$$

Отсюда искомое значение длины дышла L_d определится:

$$L_d = \frac{B \sin\varphi - 2z \cos\varphi + \sqrt{4z^2 \cos^2\varphi + B^2 \sin^2\varphi + 2B(1 - \cos\varphi)(2z \sin\varphi - B)}}{2} \quad (3)$$

При значениях угла φ , больших угла, при котором отрезок NG параллелен дышлу (рис.1б), величина z определяется расстоянием между углом, образованным продольной и поперечной плоскостями, ограничивающими габариты тягача, и передним бортом прицепа (между точками N и E).

$$NE = L_d - \left(\frac{B}{2} - z \operatorname{ctg}\varphi\right) \sin\varphi \quad (4)$$

Полагая $NE = z$, получаем длину дышла, при которой при таких углах минимальное расстояние между тягачом и прицепом будет равно z :

$$L_d = \frac{B}{2} \sin\varphi + z(1 - \cos\varphi) \quad (5)$$

На рис. 2 представлена зависимость необходимой минимальной длины дышла L_d от угла складывания φ между тягачом и одноосным прицепом на примере автопоезда с легковым прицепом «Уралец (8213.03)» при $B=1900$ мм, $z=80$ мм согласно ГОСТ Р 52281-2004.

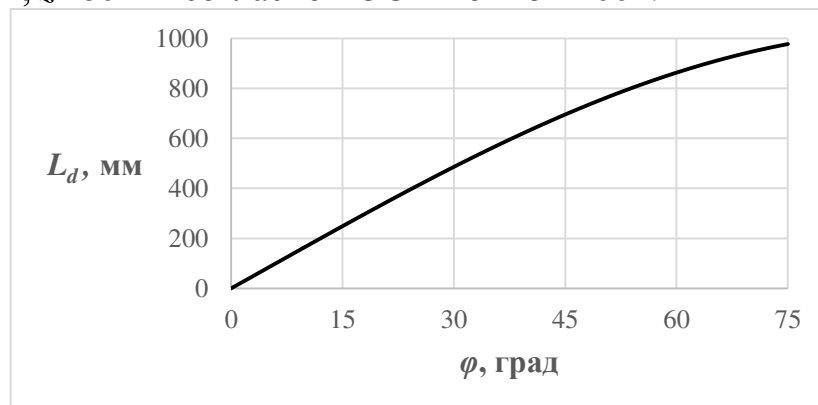


Рис. 2. Зависимость необходимой минимальной длины дышла L_d от угла складывания φ между тягачом и одноосным прицепом.

Из графика видно, что максимальная требуемая длина дышла L_d при принятых габаритных размерах буксируемого прицепа и автомобиля тягача составляет 980 мм при угле складывания автопоезда 75 градусов. Это позволит сократить габаритную длину автопоезда при прямолинейном движении.

Выводы

- Уменьшение длины тягового рычага одноосного прицепа при использовании ТСУ изменяемой длины позволяет сократить габаритную длину автопоезда при прямолинейном движении на размер длины тягового рычага, необходимый для совершения поворотов, что в свою очередь

положительно отразится на его маневровых показателях и безопасности автопоезда в условиях эксплуатации на дорогах.

- Рассмотренная методика определения параметров ТСУ изменяемой длины, является универсальной и может быть использована на предпроектной стадии создания ТСУ, а также в условиях эксплуатации при комплектовании автомобильных и тракторных поездов.

Список литературы

1. Закин Я.Х. Прикладная теория движения автопоезда. – М.: Транспорт, 1967. – 255 с.
2. Иванов В.В. и др. Основы теории автомобиля и трактора. – Учебн. пособие для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1977. – 224 с.
3. Строганов Ю.Н., Мотоусов А.В. Порошин И.А., Буксирное устройство изменяемой длины тракторного прицепа: патент на полезную модель. Патент РФ №154554, 2015.
4. Строганов Ю.Н., Мотоусов А.В. Порошин И.А., Буксирное устройство переменной длины прицепа легкового автомобиля: патент на полезную модель. Патент РФ №154569, 2015.
5. Строганов Ю.Н., Ляхов С.В., Побединский В.В., Макарова В.В., Строганова О.Ю., Тягово-цепное устройство одноосного прицепа с регулируемой длиной тягового рычага. Решение о выдаче патента на изобретение от 14.02.2023 г. по заявке на изобретение №2022128294 от 01.11.2022 г.

УДК 621.43, 622.684

ОБОСНОВАНИЕ СКОРОСТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ КАРЬЕРНОГО АВТОСАМОСВАЛА

В. В. Фурзиков, М. Л. Хазин

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ

Эксплуатационные режимы двигателя карьерного автосамосвала зависят от горнотехнических условий, которые могут изменяться по мере разработки карьера. Рассмотрено влияние горнотехнических условий эксплуатации карьерного автосамосвала на выбор скоростной характеристики двигателя. Проведен анализ режимов работы двигателей различных транспортных средств в разных условиях.

Ключевые слова: двигатель, скоростная характеристика, карьерный автосамосвал, внутри-карьерная трасса, горнотехнические условия, эксплуатационные режимы.

JUSTIFICATION OF THE SPEED CHARACTERISTICS OF THE ENGINE OF A MINING DUMP TRUCK

V. V. Furzikov, M. L. Khazin

The operating conditions of the engine of a mining dump truck depend on mining technical conditions, which may change as the quarry is developed. The influence of the mining technical conditions of operation of a dump truck on the choice of the speed characteristic of the engine is considered. The analysis of the operating modes of engines of various vehicles in different conditions was carried out.

Keywords: engine, speed characteristic, quarry dump truck, intra-quarry route, mining conditions, operating conditions.

При добыче полезных ископаемых открытым способом основным видом технологического транспорта является автомобильный, который используется для перевозки примерно 80 % всей горной массы [1, 2]. Вследствие этого затраты на транспорт являются одной из основных составляющих в составе полных затрат по добыче и переработке полезного ископаемого и могут составлять 40-50 % [2, 3]. Поэтому повышение эффективности эксплуатации карьерного транспорта, обеспечение долговечности и работоспособности транспорта являются одной из основных задач любого горно-обогатительного предприятия [4].

Характерной особенностью современного периода является увеличение глубины разработки месторождений и усложнение горно-геологических условий месторождений. Сложность профиля глубоких карьеров для различных видов полезных ископаемых предъявляют определенные требования к характеристикам энергетических установок карьерных автосамосвалов, в частности к параметрам двигателя. Разновидность типов съездов в глубокие карьеры и сложность их профиля требует от энергетических установок обеспечивать универсальные тягово-динамические характеристики карьерных автосамосвалов. Эксплуатационные режимы двигателя карьерного автосамосвала, а, следовательно, внешняя скоростная характеристика зависят от горнотехнических условий работы автомобиля, которые могут изменяться по мере разработки карьера.

Эффективная мощность энергосиловой установки, необходимой для обеспечения движения автосамосвала с заданной скоростью (v_{\max}) определяется по формуле [5]:

$$Ne_{\max} = v_{\max} \left(\frac{k_b F_a v_{\max}^2}{1000} + \frac{G_a \psi}{1000} \right) \cdot \frac{1}{\eta_{\text{тр}}},$$

где k_b – коэффициент сопротивления воздуха (коэффициент обтекаемости автомобиля); F_a – площадь лобового сопротивления, м²; v_{\max} – максимальная скорость, м/с; ψ – коэффициент сопротивления дороги, в том числе средневзвешенный уклон (i); G_a – масса автомобиля, кг; $\eta_{\text{тр}}$ – КПД трансмиссии.

Из формулы следует, что мощность двигателя зависит от:

- 1) горнотехнических условий: ψ – коэффициент сопротивления дороги, в случае движения на подъем (спуск) учитывается средневзвешенный уклон (i), т. е. ($\psi \pm i$);
- 2) технологических условий (v_a – скорость движения автосамосвала; G_a – полная масса автомобиля с перевозимым грузом);
- 3) конструктивных параметров автосамосвала (k_b , F_a , $\eta_{\text{тр}}$).

Если конструктивные параметры автосамосвала являются величинами постоянными на всем периоде его эксплуатации и достаточно сложно их изменить, то горнотехнические и технологические условия являются величинами переменными и изменяются в течение всего периода проведения открытых горных работ. Таким образом, требуемую характеристику двигателя энергосиловой установки карьерного автосамосвала необходимо строить в зависимости от горнотехнических и технологических условий.

В настоящее время технология ведения горных работ предусматривает зоны эксплуатации карьерного автотранспорта (в том числе и в комбинации с другими видами транспорта), которые различаются расстоянием транспортирования и высотой подъема горной массы. Технические характеристики силовых установок необходимо выбирать не для одной конкретной трассы, а для дифференцированных по средневзвешенному уклону групп горнотехнических условий (рис. 1).

По результатам испытаний карьерного автосамосвала БЕЛАЗ-75319 грузоподъемностью 240 тонн, работавшего на участке Никольский разреза Тугнуйский (республика Бурятия) было построено распределение эксплуатационных режимов работы дизельного двигателя 12ДМ-185А (рис. 2). Из анализа работы карьерного автосамосвала следует, что основную долю времени двигатель работает на режимах близких к номинальному (32,3 %), а также на режимах холостого хода и малой мощности (до 22,9 %) при ожидании погрузки и самой погрузки.

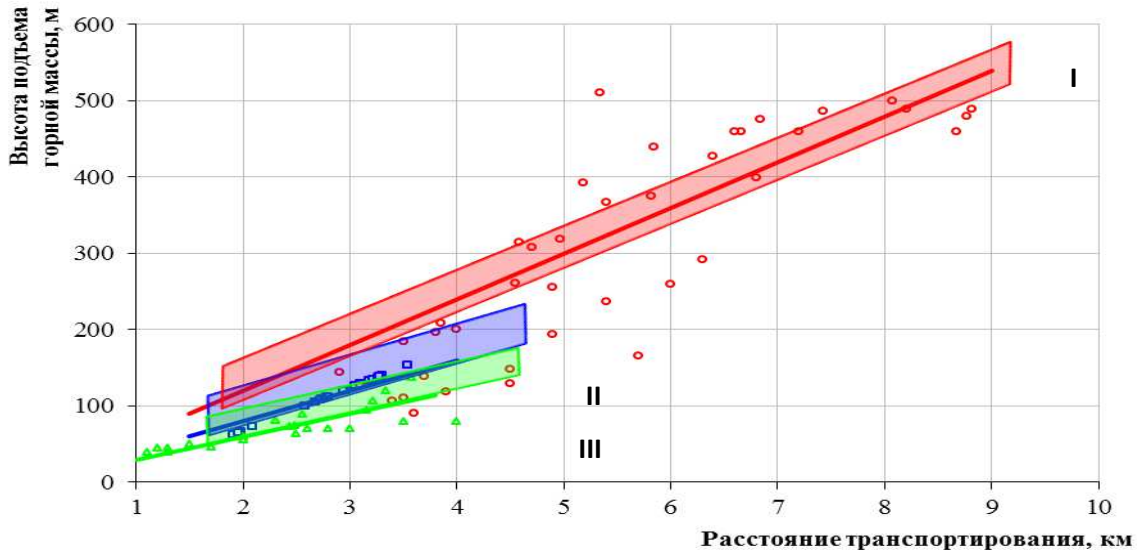


Рис. 1 Дифференциация горнотехнических условий по уклону автомобильных трасс: крутонаклонные (I), наклонные (II), слабонаклонные (III) [6, 7]

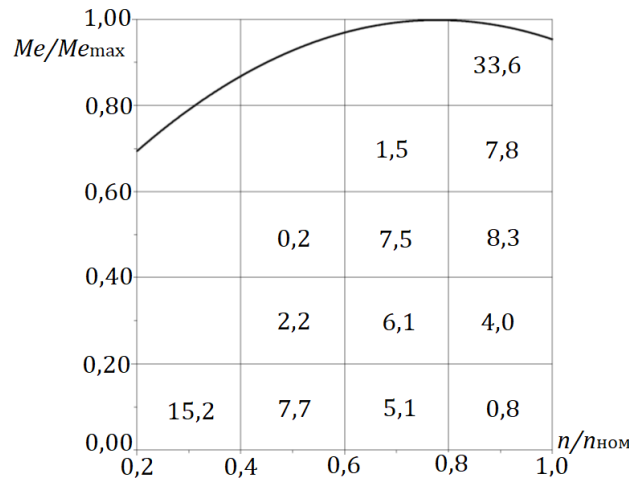


Рис. 2 Распределение эксплуатационных режимов работы дизельного двигателя 12ДМ-185А в составе карьерного автосамосвала БЕЛАЗ-75319 (грузоподъемностью 240т.) при вывозе вскрышной массы

Из анализа формулы (1) следует, что соблюдение баланса мощности при увеличении средневзвешенного уклона (i) и снижения скорости автосамосвала (частоты вращения коленчатого вала) компенсируется увеличением эффективного крутящего момента на валу, который характеризуется коэффициентом приспособляемости двигателя. Для карьеров с большей глубиной залегания полезных ископаемых характерна большая величина уклона, соответственно максимальная скорость движения автосамосвала ниже, что подтверждается результатами исследования.

По результатам исследования можно сделать вывод, что с увеличением глубины карьера для двигателя карьерного автосамосвала необходимо применять характеристику с большей величиной коэффициента приспособляемости для сохранения устойчивости его работы при движениях по крутонаклонным трассам.

Таким образом, скоростная характеристика двигателя для карьерного автосамосвала напрямую зависит от горнотехнических условий эксплуатации и вида месторождения. И выбор формы этой характеристики является комплексной задачей, так как каждый эксплуатационный режим работы двигателя имеет свою специфику, отличается по своим параметрам и вносит определенный вклад в интегральные показатели топливной экономичности и токсичности отработавших газов, характеризующих весь период его эксплуатации.

Список литературы

1. Burmistrov K. V., Osintsev N. A., Shakhshakpaev A. N. Selection of Open-Pit Dump Trucks during Quarry Reconstruction // *Procedia Engineering*. – 2017. – Vol. 206. – P. 1696–1702. DOI: [org/10.1016/j.proeng.2017.10.700](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.700)
2. Khazin M. L., Furzikov V. V., Tarasov P. I. Increasing mining dump trucks operation efficiency with the use of gas piston engines // *Известия вузов. Горный журнал*. 2020. № 2. С. 77–85. DOI: [10.21440/0536-1028-2020-2-77-85](https://doi.org/10.21440/0536-1028-2020-2-77-85)
3. Кузнецов Д. В., Одаев Д. Г., Линьков Я. Е. Особенности выбора технологического автотранспорта для разработки глубоких карьеров Севера // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. – 2017. – № 5. – С. 54–65.
4. Новиков А. Н., Новиков И. А., Загородний Н. А., Семькина А. С. Разработка научно-методических подходов для повышения эффективности эксплуатации карьерного транспорта // *Вестник СибАДИ*. 2020; № 17 (6). С. 690-703. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-690-703>
5. Гайворонский А. И., Марков В. А., Илатовский Ю. В. Использование природного газа и других альтернативных топлив в дизельных двигателях. – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2007. – 480с.
6. Фефелов Е. В. Обоснование критерия эффективности эксплуатации силовых установок автосамосвалов на глубоких карьерах: дис. канд. техн. наук. Екатеринбург, 2012. 139 с.
7. Тарасов П. И., Хазин М. Л., Фефелов Е. В., Фурзиков В. В. Проектирование двигателей для карьерных самосвалов с учетом горнотехнических условий эксплуатации // *Горная промышленность*. – 2017 – № 6 – С.60-63.

УДК 622.73

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПРИВОДА СМЕТИТЕЛЬНОГО БАРАБАНА АВТОБЕТОНОСМЕСИТЕЛЯ

С.А. Хорошавин^{1,2}, доцент, Е.В. Стучилов¹, магистрант.

¹ Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, РФ

² Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, РФ

Приведен обзор конструкции привода смесительного барабана автобетоносмесителя 58149Z, раскрыты основные проблемы эксплуатации и недостатки конструкций автобетоносмесителя 58149Z, предложена схема установки дополнительного электропривода для выгрузки бетонной смеси из смесительного барабана автобетоносмесителя

Ключевые слова: автобетоносмеситель. смесительный барабан, строительная техника.

IMPROVING THE DESIGN OF THE MIXER DRUM DRIVE OF THE CONCRETE MIXER TRUCK

S.A. Khoroshavin, E.V. Stuchilov

An overview of the design of the drive of the mixing drum of the 58149Z concrete mixer truck is given, the main problems of operation and design flaws of the 58149Z concrete mixer truck are disclosed, a scheme for installing an additional electric drive for unloading the concrete mixture from the mixing drum of the concrete mixer truck is proposed.

Keywords: mixer truck. mixing drum, construction engineering.

Широкое применение бетона в строительной практике определяется рядом его достоинств. Бетон является прочным, долговечным и огнестойким материалом.

Процесс транспортирования бетонных смесей, часто осуществляемый на значительные расстояния в непригодных для этого автосамосвалах, особенно интенсивно способствует ухудшению свойств смесей. Поэтому специализированные средства, предназначенные для доставки бетонных смесей, должны обеспечивать максимально возможное сохранение свойств и температуры смесей, исключать попадание в нее атмосферных осадков, не нарушать ее однородности, исключать потери цементного молока или раствора в пути, обеспечивать предохранение от вредного воздействия положительных и отрицательных температур, а также ветра и солнечных лучей. Бетон перевозится на специальных машинах, которые называются автобетоносмесителями. Автобетоносмесители обеспечивают сохранение необходимого качества бетона при доставке на не очень большие расстояния. Доставка таким способом транспортирования бетонных смесей плотно и органично вошла в технологический процесс современного строительства.

Автобетоносмесители – специализированные машины для перевозки сухих бетонных смесей и приготовления в пути следования готовых бетонных смесей. Автобетоносмесители могут быть использованы для пере-

возки готовых смесей с побуждением их в пути, а также частично приготовленной смеси. Загрузка автобетоносмесителей сухой смесью и водой или готовой смесью производится на специализированных заводах товарного бетона.

Установка автобетоносмесителя 58149Z на базе шасси автомобиля КамАЗ 6520 представляет целый комплекс. Источником энергии системы является автономный двигатель. Гидромеханический привод барабана состоит из гидронасоса с регулируемой подачей, реверсивного гидромотора и планетарного редуктора, данная конструкция позволяет плавно регулировать частоту вращения барабана (рис. 1).

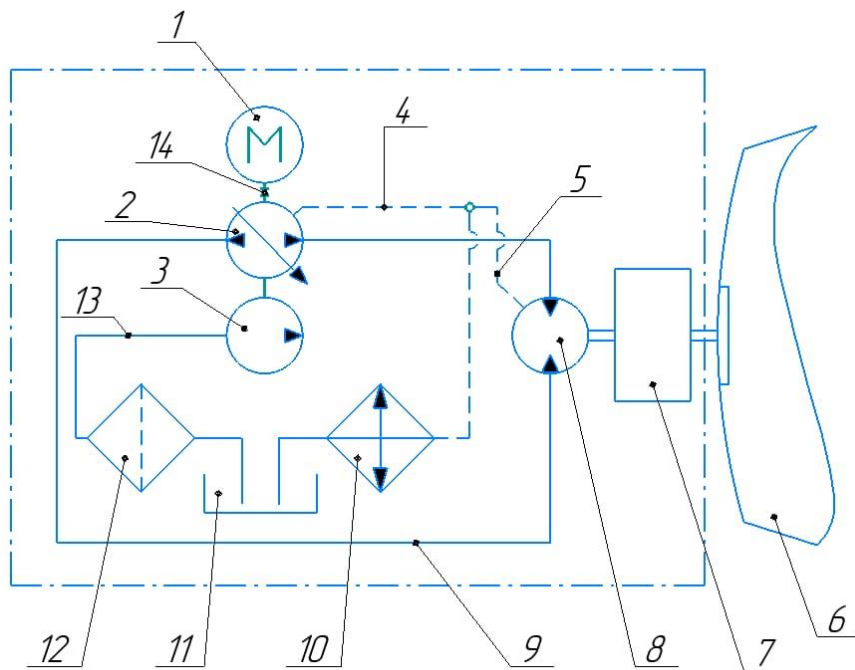


Рис. 1. Схема привода смесительного барабана от автономного двигателя с гидромеханическим отбором мощности через гидромеханическую передачу.

1 - автономный двигатель; 2 - аксиально-плунжерный насос с регулируемым рабочим объемом; 3 - подпиточный насос; 4 - трубопровод утечек масла из насоса; 5 - трубопровод утечек масла из двигателя; 6 - смесительный барабан; 7 - планетарный редуктор; 8 - аксиально-плунжерный гидромотор; 9 - трубопровод высокого давления; 10 - масляный радиатор; 11 - масляный бак; 12 - всасывающий фильтр; 13 - всасывающий трубопровод; 14 - соединительная муфта.

Автономный двигатель является единственным источником энергии, от которого происходит вся работа по перемешиванию и выгрузке бетонной смеси. Выход механизма из строя может спровоцировать даже небольшая поломка, как обрыв ремня привода водяного насоса и вентилятора, что, в свою очередь, может привести к отверждению бетона, в связи с чем, барабан приходит в негодность. На рис. 2 показаны последствия выхода из строя автономного двигателя и гидронасоса автобетоносмесителя.



Рис. 2. Последствия отвердения бетона в смесительном барабане.

В процессе перевозки бетонной смеси возможен отказ в работе автономного двигателя, являющегося источником энергии для механизма привода вращения смесительного барабана, а также возможен выход из строя гидромеханического привода. В последнем случае причин для поломки предостаточно, от утечки гидравлической жидкости в связи с потерей герметичности трубопроводов и уплотнительных соединений, до поломки гидронасоса или гидромотора.

Решением проблемы является установка дополнительного типа привода для выгрузки бетонной смеси из смесительного барабана автобетоносмесителя в случае выхода из строя автономного двигателя. На рис. 3. изображена схема установки электродвигателя через раздаточный редуктор.

Этот вариант привода отличается от предыдущей модели тем, что в его конструкцию добавляется асинхронный трехфазный двигатель 7, который крепится рядом с гидромотором МП90 2 к раздаточному редуктору 6. При помощи шпоночного соединения вал электродвигателя 7 будет вращать шестерни двухступенчатого раздаточного редуктора 6, который в свою очередь передаст вращение на вал редуктора 575L 3 и через него вращение смесительного барабана 5.

Установка электродвигателя в конструкцию автобетоносмесителя позволит в случае отказа в работе основной системы подключиться к переносному генератору и совершить вынужденную выгрузку, тем самым убережет смесительный барабан от прихода в негодность, а также снизит затраты времени и ресурсов на возвращение автомобиля в работу. Переносной генератор может размещаться в автомобиле технической помощи.

В работе выполнен обзор конструкции привода смесительного барабана автобетоносмесителя 58149Z на базе шасси автомобиля КамАЗ 6520. Существенным недостатком конструкции привода смесительного барабана автобетоносмесителя 58149Z является отвердение бетонной смеси в случае

выхода из строя привода смесительного барабана при транспортировке. Была предложена схема установки дополнительного электропривода для выгрузки бетонной смеси из смесительного барабана автобетоносмесителя в случае выхода из строя автономного двигателя.

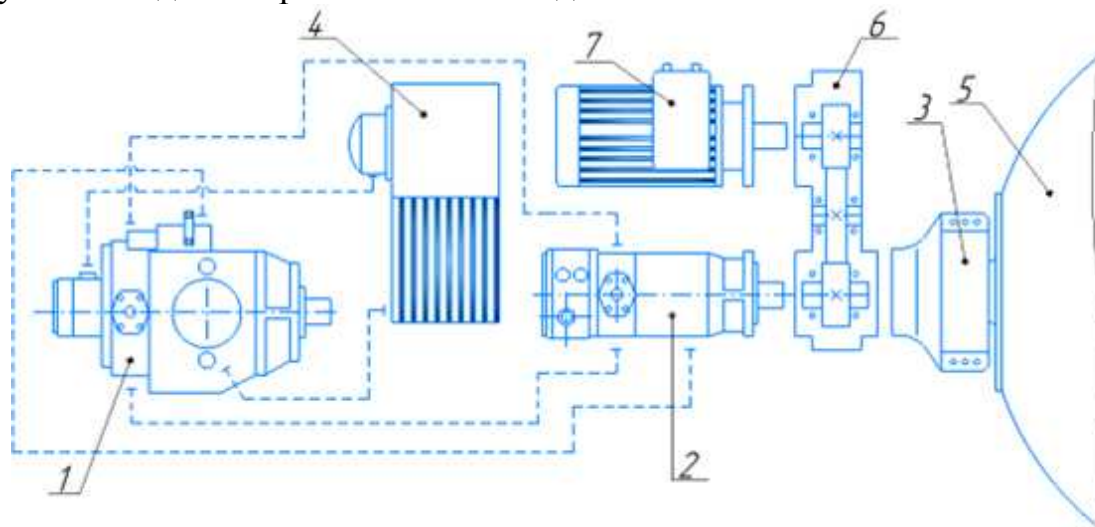


Рис. 3. Схема установки электромотора через раздаточный редуктор.
 1 - насос НПА 90Р-II; 2 - гидромотор МП90; 3 - редуктор 575L; 4 - теплообменник НРА12 ТК15 24V; 5 - смесительный барабан; 6 - раздаточный редуктор; 7 - электродвигатель.

Установка электродвигателя в конструкцию автобетоносмесителя позволит в случае отказа в работе основной системы подключиться к переносному генератору и совершить вынужденную выгрузку, тем самым убережет смесительный барабан от прихода в негодность, а также снизит затраты времени и ресурсов на возвращение автомобиля в работу.

Список литературы

1. ЦНИИОМТП Госстроя СССР. Рекомендации по доставке бетонных смесей автотранспортными средствами 90 с.
2. Свешников, К.В. Гидрооборудование: междунар. справ. Кн. 1. Насосы и гидродвигатели: Номенклатура, параметры, взаимозаменяемость /К. В. Свешников. – М.: Издат. Центр «Техинформ» - 2001. – 360 с.
3. Руководство по эксплуатации автобетоносмесителя 58149Z ОАО «Туймазинский завод автобетоновозов» 2007
4. «Планово-экономический отдел» №1 2015 / Частная практика Экономическая эффективность расчета стоимости услуг автобетоносмесителя
5. Общая инструкция по эксплуатации Гидравлические генераторы серии HG // www.dynaset.com 2004
6. Электродвигатели трехфазные Серия АИР 220–380- www.samelectric.ru

ОГЛАВЛЕНИЕ

Пленарное заседание

1. ПАМЯТИ ИВАНА ОВСЯНОВА. ЖИГАНОВ П.А. ФБГОУ ВО Уральский государственный горный университет..... 4
2. К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННОГО САМОХОДНОГО ГУСЕНИЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ДОБЫЧЕ КРЕПКИХ РУД ОТКРЫТО-ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ. В. С. Великанов, В. А. Овчинникова. «УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, ООО «Лаборатория теротехнологии наземных транспортно-технологических комплексов»..... 5
3. ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ДОБЫЧЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ. Тетерин Е.А., Тетерин А.В., Шахтинский автодорожный институт (филиал) ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова 9
4. ПАТЕНТЫ И ИННОВАЦИИ. Ю.В. Холодников, ООО СКБ «Мысль», г. Екатеринбург..... 13

Секция 1. Машины и оборудование для открытых и подземных горных работ..... 17

1. ЗАПЫЛЕННОСТЬ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ КАРЬЕРНОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭКСКАВАТОРА И ИЗМЕНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ СОПРЯЖЕНИЯ ШТОК-УПЛОТНЕНИЕ. Агагена Абдельвахаб, Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия 18
2. УДЕЛЬНЫЕ ЗАТРАТЫ ЭНЕРГИИ НА РАБОТУ СООСНЫХ РОТОРОВ ПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА. Басалай Г.А. Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь 21
3. ОБЗОР ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ КОВШЕЙ ЭКСКАВАТОРОВ. В.С. Бочков, С.В. Ситдикова, К.В. Бочкова, М.О. Горбова, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург..... 26
4. АНАЛИЗ НЕОБХОДИМОСТИ РАЦИОНАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ЭКСКАВАТОРА. Ш. Бугебрин, Д.А. Шибанов, А.В. Михайлов, Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия..... 30
5. ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННОГО КУСКОВОГО ТОРФА Б.Ф. Зюзин, А.И. Жигульская, И.Е. Гришин, Тверской государственный технический университет, г. Тверь, РФ..... 33
6. КРИТЕРИЙ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ. Б.Ф. Зюзин, А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовская, Тверской государственный технический университет, г. Тверь, РФ..... 36

7. КРИТЕРИЙ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА. Б.Ф. Зюзин, А.И. Жигульская, И.Е. Гришин, Тверской государственный технический университет, г. Тверь, РФ.....	40
8. ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ КУСКОВОГО ТОРФА. Б.Ф. Зюзин, А.И. Жигульская, И.Е. Гришин, Тверской государственный технический университет, г. Тверь, РФ.....	42
9. О СРЕДСТВАХ РАЗРУШЕНИЯ НЕГАБАРИТОВ ГОРНЫХ ПОРОД НА КАРЬЕРАХ. Иванов С.Л., Шешукова Е.И., Недашковская Е.С. Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург	45
10. ОЦЕНКА КВАЛИФИКАЦИИ ОПЕРАТОРА, КАК ВЛИЯЮЩЕГО ФАКТОРА НА НАДЕЖНОСТЬ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЭКСКАВАТОРА. В. Колпаков, Д.А. Шибанов, Санкт-петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, РФ.....	49
11. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ ДВИГАТЕЛЯМИ ГЛАВНЫХ МЕХАНИЗМОВ КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА И РЕЖИМАМИ РАБОТЫ ПРИВОДОВ. В. И. Бахарева, А. П. Комиссаров, О. А. Маслеников, Р.Ш. Набиуллин. Уральский государственный горный университет, Уральский Федеральный университет им. первого Президента РФ Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия.....	53
12. РЕЖИМЫ РАБОТЫ ДОБЫЧНЫХ КОМБАЙНОВ КАЛИЙНЫХ РУДНИКОВ. В.Д. Куоза, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь.....	58
13. МОДЕРНИЗАЦИЯ ОПОРНО-ПОВОРОТНОГО УСТРОЙСТВА КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ. Д.С. Логиновских, И.Ю. Иванов, ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ.....	62
14. ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ВЫЕМОЧНЫХ КОМБАЙНОВ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ МЕХАНИЗАЦИИ ОЧИСТНЫХ РАБОТ В АРКТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ. С.А. Майоров, ООО КОМПАНИЯ «ПРОМВЕНТ», г. Омск, Россия....	67
15. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ НАЛИПАНИЯ И НАМЕРЗАНИЯ ГОРНОЙ МАССЫ НА РАБОЧЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЭКСКАВАТОРОВ. М.С. Мамаева, С.В. Горюнов, А.А. Хорешок. Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, филиал в г. Прокопьевск, РФ, Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, РФ.....	69
16. СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ ОБВОДНЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ. А.А. Мякотных, Э.А. Вагапова, П.В. Иванова, С.Л. Иванов. Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия.....	76
17. К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ МОЩНОСТИ ПРИВОДА МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА ЭКСКАВАТОРА ТИПА ЭКГ. Е.С.	80

Недашковская, Е.И. Шешукова, С.Л. Иванов, Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия.....	
18. МЕХАНИЗИРОВАННЫЙ СПОСОБ УСТАНОВКИ АНКЕРОВ. А.Е. Окимбаева, Н.О. Ахметов. Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Р. Казахстан.....	82
19. О ПОДГОТОВКЕ РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ ДЛЯ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЕПЕЙ С ПОМОЩЬЮ ДИСПЕРГАТОРА С МОДУЛЯЦИЕЙ ПОТОКА. П.Б. Пашко, А.Л. Яблонев, ООО «Пик Майнинг», г. Москва, Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Россия.....	85
20. СИСТЕМЫ "ЧЕЛОВЕК - МАШИНА - СРЕДА" НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ: НЕСКОЛЬКО СЛОВ О БИОРИТМОЛОГИИ. П.А. Побегайло; А.Н. Ильина, Д.Ю. Крицкий. ФГБОУВО МАИ (НИУ), Москва, РФ; АО "СУЭК-КРАСНОЯРСК", Красноярск, РФ.....	89
21. ПРОДЛЕНИЕ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ: ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ. П.А. Побегайло, Д.Ю. Крицкий, А.Н. Ильина, АО "СУЭК-КРАСНОЯРСК", Красноярск, МАИ (НИУ), Москва, РФ.....	95
22. АНАЛИЗ ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОЙ ВЫЕМКИ ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ. И.В. Соловьев, А.В. Михайлов, Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, РФ	100
23. ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА МЕХАНИЗМА ШАГАНИЯ ЭКСКАВАТОРА-ДРАГЛАЙНА. Н.М. Суслов, С.А. Чернухин, ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ.....	104
24. АСПЕКТЫ СОВРЕМЕННОГО ПОНИМАНИЯ СУЩНОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ ГОРНОЙ ТЕХНИКИ. Т.А. Ткачева, Московский политехнический университет, г. Москва, РФ.....	109
25. О ПРИЧИНАХ РАЗРУШЕНИЯ ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ СОСУДОВ. Г.Д. Трифанов, В.Ю. Зверев, Пермский национальный исследовательский политехнический университет.....	112
26. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ КОМПРЕССОРОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИХ В ПОДЗЕМНЫХ УСЛОВИЯХ ОАО «СЕВУРАЛБОКСИТРУДА». А.В. Угольников, В.В. Потапов, А.А. Парамонова, А.Е. Угольникова, Р.В. Соколов, ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет».....	115
27. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫЕМОЧНЫХ И ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ МАШИН	119

КОМБАЙНОВЫХ КОМПЛЕКСОВ КАЛИЙНЫХ РУДНИКОВ. Д.И. Шишлянников, Д.А. Лосев, К.А. Просовский, А.О. Говорливых, И.В. Зырянов, ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (г. Пермь), АО «ВНИИ ГАЛУРГИИ» (г. Санкт-Петербург).....	
28. ЗАЩИТА ГАЗОСЕПАРАТОРОВ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ ОТ ГИДРОАБРАЗИВНОГО ПЕРЕРЕЗАНИЯ ПРИ ДОБЫЧЕ ЖИДКОСТИ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ. Д. И. Шишлянников, В. К. Картавцев, А. С. Служаев, И. Е. Колупаев, К. А. Лунев. ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».....	123
29. ОПТИМИЗАЦИЯ УГЛА УСТАНОВКИ ФРЕЗЫ ТОРФЯНОГО БРОВКОРЕЗА. А.Л. Яблонев, Н.М. Жуков, Д.М. Щербакова, А.И. Пружинин, Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Россия.....	127
30. ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВСАСЫВАНИЯ ТОРФЯНОЙ ФРЕЗЕРНОЙ КРОШКИ СОПЛОМ С ПОМОЩЬЮ МУНДШТУКА. А.Л. Яблонев, Д.М. Щербакова. Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Россия.....	131
<u>Секция 2. Машины и оборудование обогатительных фабрик</u>	135
1. МАШИНЫ И ПРОЦЕССЫ ДЕЗИНТЕГРАЦИИ ПЛАВУЧЕГО КОМПЛЕКСА ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ РУД АРКТИКИ. Н.А. Алтынников, А.С. Корогодин, С.Л. Иванов, Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия.....	136
2. ЦИФРОВАЯ ДИАГНОСТИКА В МОНИТОРИНГЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ГОРНЫХ МАШИН. В.С. Великанов, В. А. Овчинникова, УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, РФ, ООО «Лаборатория теротехнологии наземных транспортно-технологических комплексов», г. Екатеринбург, РФ.....	141
3. ОБОРУДОВАНИЕ «ВИБРОТЕХНИК» ДЛЯ ПРОБОПОДГОТОВКИ В МОБИЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ. М.М. Григорьев, ООО «ВИБРОТЕХНИК», г. Санкт-Петербург.....	145
4. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЩЕКОВОЙ И РОТОРНОЙ ДРОБИЛОК В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. Е.А. Девяткин, Ю.А. Лагунова, А. А. Жилинков, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, «УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, РФ.....	148
5. ЦИКЛИЧНО-ПОТОЧНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И ПРИМЕНЕ-	152

НИЕ КОНУСНЫХ ДРОБИЛОК В КАРЬЕРЕ. А.С. Катаев, Л.А. Гаврилова, АО «ЕВРАЗ Качканарский ГОК», г. Качканар, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, РФ.....	
6. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОТРАНСПОРТА ХВОСТОВ НА ОА «ЕВРАЗ КГОК». Ю.А. Катаева, Л.А. Гаврилова, АО «ЕВРАЗ Качканарский ГОК», г. Качканар, РФ, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, РФ.....	156
7. ПРОГРАММА ДЛЯ РАСЧЁТА ПАРАМЕТРОВ И ПРИВОДА ЧАШЕВОГО ОКОМКОВАТЕЛЯ. А.Н. Купин, Ю.А. Лагунова, Уральский государственный горный университет, «УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, РФ.....	160
8. ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРОБИМОГО МАТЕРИАЛА НА ПРИМЕРЕ КОКСА. Ю.А. Пожидаев, В.Я. Потапов, В.В. Потапов, П.В. Трутьев, ООО «Научная инжиниринговая компания «Адаптивная механика», г. Магнитогорск, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия	164
9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСБЕСТОСОДЕРЖАЩИХ ПРОДУКТОВ. В.Я. Потапов, В.В. Потапов, Р.В. Соколов, П.В. Трутьев, Н. И. Кожухов, ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ	170
10. ИЗВЛЕЧЕНИЕ ПЫЛИ ИЗ ДРОБИМОГО МАТЕРИАЛА ПОСЛЕ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ДРОБИЛКИ. Ю.А. Лагунова, С.Л. Разбитнов, ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», ФГАОУ ВО «УрФУ им. первого Президента РФ Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, РФ, ООО «Грубберский щебеночный завод», РФ.....	176
11. ПРИМЕНЕНИЕ ДРОБИЛЬНО-ПЕРЕГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВ В СОСТАВЕ ЦПТ НА КАРЬЕРАХ. Ю.А. Лагунова, Аль Саади Сайф Кузай Шрайда, ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», ФГАОУ ВО «УрФУ им. первого Президента РФ Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, РФ.....	180
12. СПОСОБ РАЗРУШЕНИЯ ХРУПКИХ МАТЕРИАЛОВ В ДРОБИЛКЕ, РАБОТАЮЩЕЙ НА СДВИГ. А.Г. Никитин, Н.М. Курочкин, Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, РФ.....	184
<u>Секция 3. Геологоразведочное и нефтегазовое оборудование</u>	187
1. АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТРАДИЦИОННОГО СПОСОБА БУРЕНИЯ СКВАЖИН В СОВРЕМЕННЫХ РЕАЛИЯХ. А.М. Баклаев, К.М. Исаев, ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ.....	188
2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВЕЙШИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННО-	192

СТИ. А.И. Бердникова , ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ	
3. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГЕОМЕТРИИ ШАРОШЕК БУРОВОГО ДОЛОТА ДЛЯ БУРЕНИЯ МЯГКИХ ПОРОД. Д. А. Борейко, Д. Ю. Сериков , ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», г. Ухта, РФ, ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина», г. Москва, РФ.....	196
4. ПОЧЕМУ ПРОИСХОДЯТ ОБРЫВЫ ТАЛЕВОГО КАНАТА НА МОБИЛЬНЫХ БУРОВЫХ УСТАНОВКАХ? С.В. Воробель, Г.Д. Трифанов , Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь.....	200
5. ОБЗОР УСТАНОВОК ДЛЯ БЕСТРАНШЕЙНОЙ ПРОКЛАДКИ ТРУБ МЕТОДОМ ПРОДАВЛИВАНИЯ. Р.Д. Козлов, А.Н. Ермаков, А.А. Амосов , НИЛ ЦТПМСК, г. Кемерово, РФ	203
6. ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРИЕМНОГО МОСТА. М.Д. Ларионов, Л.А. Гаврилова , Уральский государственный горный университет.....	206
7. СИНТЕЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ОСНОВНЫХ МЕХАНИЗМОВ БУРОВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА. К.П. Порожский, В.Л. Мурахтин . ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, ООО «Уралмаш НГО Холдинг», г. Екатеринбург, РФ.....	211
8. ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ ЧАСТИЦ В ПСЕВДО-ОЖИЖЕННОМ СЛОЕ. В.Я. Потапов, В.В. Потапов, П.А. Костюк, Н.И. Кожухов , ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ	215
9. ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА БУРЕНИЯ БОКОВЫХ СКВАЖИН КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТОВ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ. С.У. Галлямов, К. Р. Уразков , ООО НПП «БУРИНТЕХ», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной университет», г. Уфа, РФ.....	220
10. ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РАЗВЕДОЧНОГО БУРЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЗАКОНА КОМПОЗИЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ. С.Г. Фролов, В.Я. Потапов, В.В. Потапов, А.В. Соколова, Р.В. Соколов , ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ....	224
11. РАЗРАБОТКА СКВАЖИННОГО КОНТЕЙНЕРА ДЛЯ ДОЗИРОВАНИЯ ЖИДКОГО РЕАГЕНТА С ПРИВОДОМ ОТ ШТАНГОВОГО НАСОСА. Д.И. Шишлянников, Д.И. Дремина, Ю.Г. Коротков, В.И. Шишлянников, Е.Н. Малых , ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».....	229

<u>Секция 4. Вопросы моделирования и расчеты сложных технических систем.....</u>	233
1. МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛИ «КРЫЛЬЧАТКА». А. Боева, Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия	234
2. РАСЧЕТ УСИЛИЙ В КАНАТАХ ДРАГЛАЙНА ПРИ ВХОДЕ КОВША В ЗОНУ РАСТЯЖКИ. С. Ю. Брозовский, В. С. Шестаков, ОАО «Трансмаш», г. Екатеринбург, РФ, ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ.....	237
3. СТРУКТУРНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА, ОСНАЩЕННОГО УПРУГОДЕМПФИРУЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ. И.В. Зырянов, А.А. Иов, И.А. Иов, В.А. Храмовских, Политехнический институт (филиал) СВФУ, г. Мирный, ООО «СЛСи-Джи Эйч», г. Москва, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия	241
4. ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОСТОЙКИ СЕКЦИИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ. К.Б. Кызыров, О.С. Решетникова, А.М. Галкин, Карагандинский технический университет им. А.Сагинова, г. Караганда, Казахстан.....	245
5. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОДШИПНИКА КАЧЕНИЯ С Х-ОБРАЗНЫМИ ТЕЛАМИ. С.А. Майоров, ООО КОМПАНИЯ «ПРОМВЕНТ», г. Омск, Россия	249
6. РАБОЧЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭКСКАВАТОРА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ПОДДЕРЖАНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО УГЛА РЕЗАНИЯ ЗУБЬЯМИ КОВША. А.К. Муравский, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь	252
7. МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ НАГРУЖЕННОСТИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА. А.П. Комиссаров, Р.Ш. Набиуллин, ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», «УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, РФ.....	256
8. ВЫБОР СХЕМЫ СИЛОВОГО КАРКАСА МАЧТЫ БУРОВОГО СТАНКА С ОТКРЫТОЙ ГРАНЬЮ. Н. В. Савинова, Д. О. Шпанькова, ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ.....	260
9. ОБРАТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ МЕХАНИЗМОВ – ЦЕЛЬ, СПОСОБ, РЕЗУЛЬТАТ. Н. В. Савинова, А.В. Штелле, ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ, УНМ «М-ЛАБС».....	264

10. ОЦЕНКА НАГРУЖЕННОСТИ ПРИВОДОВ КОМБАЙНОВ «УРАЛ-20Р» ПРИ ОТРАБОТКЕ ЗАБОЯ НЕПОЛНЫМ СЕЧЕНИЕМ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ. Д.И. Шишлянников, М.Г. Трифанов, Д.С. Грибов, И.Х. Тюбеев, Д.А. Ситников, ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (г. Пермь), АО «ВНИИ ГАЛУРГИИ» (г. Санкт-Петербург)....	268
11. ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАСЧЕТ СЛОЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ, РОБОТИЗАЦИЯ. И.А. Ядловский, ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ.....	272
<u>Секция 5. Проблемы материаловедения, производства и конструирования в машиностроении.....</u>	275
1. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФИНИШНОЙ ОПЕРАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ «ХОДОВОЙ ВИНТ ШВП» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА МАО. М.А. Дли, В.В. Максаров, Санкт-Петербургского горного университета, г. Санкт-Петербург, РФ.....	276
2. ПРИМЕНЕНИЕ СЦЕПОК ДЛЯ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ МОСТОВЫХ КРАНОВ. И. В. Зайцев, А. Л. Кузьминов, Н.В. Модин, Г.Г. Кожушко, Череповецкий государственный университет», г. Череповец, ООО «Северсталь-Проект», г. Череповец, УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург РФ.....	279
3. ВЛИЯНИЕ УМЕНЬШЕНИЯ НАРУЖНОГО ДИАМЕТРА ЦИЛИНДРА РАЗГРУЗОЧНОГО ДИСКА УЗЛА ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ПЯТЫ НА НАДЕЖНОСТЬ СЕКЦИОННОГО НАСОСА. Зырянов И.В., Овчинников Н.П., Политехнический институт (филиал) Северо-Восточного федерального университета, г. Мирный, Северо-Восточный федеральный университет, г. Якутск, Россия	282
4. ВНЕДРЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ. А. Е. Калянов, Ю. Г. Манаков, ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» г. Екатеринбург, АО «Святогор» г. Красноуральск	285
5. ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ПОДШИПНИКОВЫХ ОПОР БАРАБАННОЙ МЕЛЬНИЦЫ ПЛАВУЧЕГО КОМПЛЕКСА ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ. А.С. Корогодина, Н.А. Алтынников, С.Л. Иванов, Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия.....	289
6. ВЛИЯНИЕ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОРЕЛЬЕФА РЕЖУЩИХ КЕРАМИЧЕСКИХ ПЛАСТИН. М.А. Попов, А.С. Кузьмина, А.Д. Халимоненко. Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург,	293

Россия.....	
7. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ОКОНЧАТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВКЛАДЫШЕЙ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ. В.Г. Куфаев, Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, РФ.....	297
8. НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ. С.А. Матвиенко, А.В. Лукичев, Д.В. Егоров, А.Н. Тригубов, Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, ДНР.....	301
9. ПОСТРОЕНИЕ УПРОЩЕННОГО ПРОФИЛЯ ПЕРА ЛОПАТКИ ТУРБИНЫ ГТД. А.Н. Михайлов, А.В. Анастасьев, Н.С. Пичко, Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, ДНР, Филиал Ухтинского государственного технического университета в г. Усинске, Усинск, Российская Федерация.....	305
10. К ВОПРОСУ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ БЕЗОТХОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ НАКАТКИ ПРОФИЛЕЙ ТРУБ. А.Н. Михайлов, С.Б. Котляров, В.Б. Котляров, Б.С. Котляров. Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, ДНР.....	309
11. МЕТОДИКА РАСЧЕТА АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА ТРУБОПРОВОДОВ ПНЕВМОТРАНСПОРТНЫХ УСТАНОВОК СИСТЕМ ПЫЛЕПРИГОТОВЛЕНИЯ И ЗОЛОШЛАКОУДАЛЕНИЯ ТЭС. В.Я. Потапов, А.И. Афанасьев, П.А. Костюк, В.В. Потапов, П.В. Трутнев, ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ.....	315
12. К ВОПРОСУ РАСЧЕТА МЕСТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЕЗДОВЫХ ПРОФИЛЯХ. М.С. Соколов, Д. А. Огорелков, Г.Г. Кожушко, УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, РФ.....	318
13. СПОСОБ ОБРАБОТКИ АЛЮМИНИЕВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЭЛЕГАЗОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ МЕТОДОМ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОГО ПОЛИРОВАНИЯ. Н. И. Сорочкопуд, Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, РФ.....	321
<u>Секция 6. Ремонт, сервисное обслуживание и диагностика горного оборудования.....</u>	325
1. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ТРЕНАЖЕРА-ИМИТАТОРА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭКСКАВАТОРА. Е.И. Райская, И.В. Телиман. Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, Казахстан.....	326
2. ПРИКЛАДНОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИ-	329

СТЕМЫ ТОиР ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ. Л.И.Андреева, Т. И.Красникова, Челябинский филиал Института горного дела Уро РАН, ООО «Научно-исследовательский институт эффективности и безопасности горного производства» (ООО «НИИОГР»), г. Челябинск.....	
3. ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАЗНАЧЕНИЯ БУРОВЫХ СТАНКОВ. Л.И. Андреева, А.В. Панкратов, Челябинский филиал Института горного дела Уро РАН, г. Челябинск, АО «Ковдорский ГОК», г. Ковдор, Россия.....	335
4. МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ С УЧЕТОМ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ. Л.И. Андреева, Челябинский филиал Института горного дела Уро РАН, г. Челябинск, Россия	339
5. МЕХАНИЗМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА ГОРНОЙ ТЕХНИКИ НА ГОРНОДОБЫВАЮЩЕМ ПРЕДПРИЯТИИ. Л.И. Андреева, Челябинский филиал Института горного дела Уро РАН, г. Челябинск, Россия..	344
6. ВЛИЯНИЕ ЭРГАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ТОиР КАРЬЕРНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЭКСКАВАТОРОВ. А.Е. Бессонов, Д.А. Шибанов, А.В. Михайлов, Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия.....	349
7. АНАЛИЗ ИЗНАШИВАНИЯ ЗУБЬЕВ ЭКСКАВАТОРА ТИПА ЭЖГ. В.С. Бочков, С.В. Ситдикова, К.В. Бочкова, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург.....	352
8. ОЦЕНКА КВАЛИФИКАЦИИ ОПЕРАТОРА, КАК ВЛИЯЮЩЕГО ФАКТОРА НА НАДЕЖНОСТЬ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЭКСКАВАТОРА. Д.О. Власов, Д.А. Шибанов, Санкт-петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, РФ.....	355
9. ОЦЕНКА СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ НА УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ КУЗБАССА. С. В. Горюнов, А. А. Хорешок, ФГБОУ ВО филиал КузГТУ в г. Прокопьевске, ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», г. Кемерово, РФ.....	358
10. МОБИЛЬНАЯ РЕМОНТНАЯ МАСТЕРСКАЯ ДЛЯ ТОРФОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ. А.М. Гусева, А.Л. Яблонев. Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Россия	363
11. ПРИЧИНЫ, ВОЗДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ХОДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭКСКАВАТОРА. В.В. Макарова, Ю.А. Лагунова, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, РФ.....	366
12. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И	370

ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ. А.Ю. Микрюков, Е.О. Жуланов, Пермский Научно исследовательский политехнический университет г. Пермь.....	
13. НЕКОТОРЫЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ПО "СЛАБЫМ ТОЧКАМ" КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ. П.А. Побегайло, Д.Ю. Крицкий, А.П. Побегайло, Москва, РФ; АО "СУ-ЭК-КРАСНОЯРСК", Красноярск, РФ.....	373
14. К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ. П.А. Побегайло, Д.Ю. Крицкий, Е.С. Сазанкова, АО "СУЭК-КРАСНОЯРСК", Красноярск, РФ; НИТУ МиСиС, Москва, РФ.....	380
15. РЕМОНТНАЯ ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ГОРНОЙ ТЕХНИКИ – БАЗОВЫЙ ФАКТОР ЕЁ ВЫСОКОЙ НАДЕЖНОСТИ. Т.А. Ткачева, «Московский политехнический университет», г. Москва, РФ.....	388
16. ПРАКТИКА ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ. Ю.В. Холодников, ООО СКБ «Мысль», г. Екатеринбург, РФ	393
<i>Секция 7. Карьерный транспорт и транспорт нефти и газа...</i>	395
1. К ВОПРОСУ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ. А.А. Жилинков, ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ.....	396
2. ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ ОТКАЗОВ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ В КРИОЛИТОЗОНЕ. И. В. Зырянов, Ю.С. Бочкарев, Политехнический институт (филиал) СВФУ, г. Мирный, Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, г. Якутск, РФ	399
3. ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОАККУМУЛЯТОРНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ В КАРЬЕРНОЙ ВЫЕМОЧНО-ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЕ. Е. Д. Кардашин, ФГБУН «Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук» (ИГД УрО РАН), г. Екатеринбург, Россия	404
4. РАЦИОНАЛЬНОЕ СООТНОШЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭКСКАВАТОРНО-АВТОМОБИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ. А.А. Жилинков, А.П. Комиссаров, О.С. Некрасова, А.Г. Попов, Уральский государственный горный университет, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, РФ	408
5. ПРОХОДИМОСТЬ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОГО ТРАНС-	411

- ПОРТА. В. А. Леонов, М.Л. Хазин, ООО ЕЗСМ «Континент», г. Екатеринбург, РФ, ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ.....**
- 6. УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АВТОПОЕЗДА С ОДНООСНЫМ ПРИЦЕПОМ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ТЯГОВО-СЦЕПНОГО УСТРОЙСТВА С РЕГУЛИРУЕМОЙ ДЛИНОЙ ТЯГОВОГО РЫЧАГА. ю.н. Строганов, А.Ю. Михеев, Е.М. Пампура, Уральский Федеральный Университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина.....** 415
- 7. ОБОСНОВАНИЕ СКОРОСТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ КАРЬЕРНОГО АВТОСАМОСВАЛА. В. В. Фурзиков, М. Л. Хазин. ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ.....** 419
- 8. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПРИВОДА СМЕТИТЕЛЬНОГО БАРАБАНА АВТОБЕТОНОСМЕСИТЕЛЯ. С.А. Хорошавин, Е.В. Стучилов, Уральский государственный горный университет, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, РФ.....** 423

Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов XXI международной научно-технической конференции. Чтения памяти В.Р. Кубачека.

Доклады публикуются в авторской редакции. Набор и компьютерная верстка на настольной издательской системе IBM.

Подготовка макета – *Ю.А. Лагунова*

Подписано в печать 28.03.2023 г. Бумага «Svetocopy» Формат 60×84 1/16

Ризография Печ. л. 23,56 Уч.-изд.л. Тираж 50 экз.

Кафедра горных машин и комплексов

620144, г. Екатеринбург, пер. Университетский, 3

Уральский государственный горный университет

E-mail: Yu.Lagunova@mail.ru