



СБОРНИК ТРУДОВ

**XXIII 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

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

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ ГОРНОЙ И НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

03-04 апреля 2025 г.

Под общей редакцией проф. Ю.А. Лагуновой

г. Екатеринбург

Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов XXIII международной научно-технической конференции «Чтения памяти В. Р. Кубачека», проведенной в рамках Уральской горнопромышленной декады 03-04 апреля 2025 г. / Под общ. ред. Лагуновой Ю.А. / Оргкомитет: Ю.А. Лагунова, А.Е. Калянов. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2025. – 504 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. **Комиссаров Анатолий Павлович** – д-р техн. наук, профессор УГГУ (г. Екатеринбург);
4. **Шестаков Виктор Степанович** – канд. техн. наук, профессор УГГУ (г. Екатеринбург);
5. **Трифанов Геннадий Дмитриевич** – д-р техн. наук, профессор Пермского национального исследовательского политехнического университета (г. Пермь);
6. **Андреева Людмила Ивановна** – д-р техн. наук, гл. н. с. Челябинского филиала Института горного дела ИГД УрО РАН (г. Челябинск);
7. **Глебов Андрей Валерьевич** – д-р техн. наук, зам. директора Института горного дела ИГД УрО РАН (г. Екатеринбург);
8. **Фури Виталий Олегович** – канд. техн. наук, начальник технической службы ПАО «Уралмашзавод»;
9. **Червяков Сергей Алексеевич** – канд. техн. наук, советник ген. директора по конструкторским разработкам ПАО «Уралмашзавод»;
10. **Муземнек Александр Юрьевич** – д-р техн. наук, зав. каф. "Теоретическая и прикладная механика и графика" ПГУ (г. Пенза).

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. **Сагинтаева Сауле Саветовна** – ректор Карагандинского технического университета имени Абылкаса Сагинова («КарТУ имени А. Сагинова»), (Р. Казахстан), д-р экон. наук, канд. физ.-мат. наук, профессор математики, академик МАИН., (Р. Казахстан);
4. **Мейрам Мухаметрахимович Бегентаев** - ректор, доктор экономических наук, доцент 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. **Умедов Шерали Халлокович** - д.т.н., проф., зав. кафедрой Навоийского технического университета (Узбекистан).



ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

УДК 929.00

ДОРОГА В 80 ЛЕТ

Дорога в 80 лет – длиннее многих,
И злых ухабов в ней не счесть, и поворотов.
В ней – и бессмертный стук сердец, и вой тревоги,
И память, что кипит в крови упрямой нотой.

В ней – блеск советского штыка и пламя флага,
Самоотверженность солдат на поле боя,
И лица, сделавших свой шаг, и их отвага,
Что расцветала на груди Звездой Героя.

В ней – беспримерный подвиг тех, кто не склонился,
Кто за любой клочок земли умел держаться,
И, кто науке побеждать сквозь боль учился,
Сумев в сжигающей войне собой остаться!

Дорога в 80 лет легла под ноги,
И подступивший горизонт горит во мраке,
Но солнце встанет, как и прежде, на востоке -
И будет бить в лицо всем тем, кто жаждет драки!

Анатолий Жиганов,
выпускник кафедры ГМК

УДК 929.00

УРАЛЬСКИЙ ХАРАКТЕР

Упрямый характер Урала известен давно:
Не каждый сумеет поладить с горами по-братски.
Лишь тот, в ком решимость и сила кипят заодно,
Шагает вперед на особый манер – по-горняцки.

Душа горняка – и богаче, чем редкий алмаз,
И тверже стократ, и прочнее любого металла.
Уральский характер – не яркий фасад напоказ,
А та глубина, что звучит отголосками шквала.

Уральские доблесть и мужество – тот элемент,
Что в годы войны стойко вынес лишения и беды,
Чтоб отблеском славы вписать свою суть в монумент,
Воздвигнутый в честь и во имя Великой Победы!

Уральцы и ныне шагают сквозь огненный ад:
Упорно, решительно, зло и всегда – по-горняцки.
Упрямый характер прочней всевозможных преград
И верный соратник, и схваток, и будней солдатских!

Уральские горы – бессмертный и грозный гранит,
И дети Урала – живое его продолжение.
Пусть память былого незримым крылом сохранит
Всех тех горняков, кто СЕГОДНЯ вступают в сражение!

Анатолий Жиганов,
выпускник кафедры ГМК

УДК 378.14

ПАМЯТЬ О СОТРУДНИКАХ – 90 ЛЕТ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ПРОФЕССОРОВ П.А. КАСЬЯНОВА И А.В. ЮДИНА!

Ю.А. Лагунова^{1,2}, зав. каф., проф., д.т.н., К.П. Порожский¹, доц., к.т.н., В.С. Шестаков¹, проф., к.т.н., А.П. Комиссаров^{1,2}, проф., д.т.н.,

¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург,

²ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»

Воспоминания сотрудников кафедры о профессорах Касьянове Петре Акимовиче и Юдине Аркадии Васильевиче. Рассказы о высококвалифицированных специалистах в области горного и транспортного машиностроения, о педагогах и воспитателях кадров для машиностроительного производства горнопромышленного, транспортного и нефтегазового комплексов. Отражены их достоинства и личные качества.

Ключевые слова: история, люди, память, специалисты в области горного и транспортного машиностроения.

IN MEMORY OF THE STAFF – 90 YEARS SINCE THE BIRTH OF PROFESSORS P.A. KASYANOV AND A.V. YUDIN!

Yu.A. Lagunova, K.P. Porozhskiy, V.S. Shestakov, A.P. Komissarov

Memories of the department staff about professors Kasyanov Petr Akimovich and Yudin Arkady Vasilievich. Stories about highly qualified specialists in the field of mining and transport engineering, about teachers and educators of personnel for the engineering production of the mining, transport and oil and gas complexes. Their merits and personal qualities are reflected.

Keywords: history, people, memory, specialists in the field of mining and transport engineering.

Главное богатство сурового, но щедрого и мастерового Урала – это люди. Прежде всего, люди непростых, но почетных профессий – горняки и металлурги, - серьезные и влиятельные, решения которых во многом определяют экономическую и рыночную ситуацию в регионе. А кто стоит у истоков их профессионального мастерства? Конечно – педагоги, учителя и воспитатели душ. Поэтому вспомним сегодня замечательных профессоров кафедры горных машин и комплексов (ГМК) Уральского государственного горного университета (УГИ-СГИ-УГИ-УГГГА-УГГУ) – Петра Акимовича Касьянова и Аркадия Васильевича Юдина /1/.

«Такого рода мы и племени,

Что в нас века заключены.

Все расстоянья, вплоть до времени,

Как никогда, сокращены.

Минуты мчатся по орбитам,

Мал циферблат сегодня им.

И эта скорость стала бытом,

Сердцебиением моим!

И, может, летоисчисленье

Потомки наши поведут

Не по годам, а по мгновеньям,

По датам прожитых минут!» (Николай Доризо)

Касьянов Петр Акимович родился 1 сентября 1935 года в г. Котельнич Кировской области. В 1958 году успешно окончил Уральский политехнический институт им. С.М. Кирова (УПИ) по специальности «Подъемно-транспортные машины и оборудование» и был распределен на завод строительного машиностроения в г. Нязепетровске Челябинской области, где работал конструктором до 1962 г.

На Нязепетровском заводе строительных машин с 1958 по 1959 г.г. принимал непосредственное участие в разработке проектов передвижного дробильно-сортировочного агрегата, башенного крана грузоподъемностью 5 т для крупнопанельного домостроения Т-226; с 1961 по 1962 г.г. занимался разработкой проектов башенного крана для строительства зерновых элеваторов на целине, выполнял проект монтажа телевизионной вышки в г. Нязепетровске, Челябинской обл.

С 1962 по 1966 годы в качестве конструктора Уралмашзавода занимался разработкой опытных образцов унифицированных экскаваторов ЭКГ-5, ЭКГ-4,6 и ЭКГ-4,6Б. В течение этих лет постоянно участвует как исполнитель и научный руководитель опытно-конструкторских и научно-исследовательских работах, выполняемых кафедрой ГМК совместно с НИИтяжмашем. Таких работ выполнено более 15, а к последним из них относятся: «Метод расчета опорно-поворотных устройств экскаваторов-драглайнов. Математические модели, программа, описание логики (1987 г.)»; « Научное обоснование и разработка технических решений по повышению надежности драглайнов для открытых горных работ (1998 г.)»; «Исследование опорно-поворотных устройств драглайнов средней мощности с целью снижения трудоемкости их изготовления (2002 г.)».

П.А. Касьянов автор и соавтор 65 работ и 20 изобретений и патентов. Под его руководством разработан и утвержден Минтяжмашем руководящий технический материал: «Расчет основных параметров опорно-поворотных устройств экскаваторов-драглайнов».

В 1999 году защитил докторскую диссертацию «Моделирование рабочего процесса, механика, прочность и ресурс опорно-поворотных устройств шагающих драглайнов».

В 2004 году награжден Почетной грамотой Губернатора Свердловской области, в 2007 г. присвоено звание «Заслуженный машиностроитель РФ».

Петр Акимович воспитал двух дочерей и сына, очень гордился успехами внука Григория.

Аркадий Васильевич Юдин родился 22 сентября 1935 г. в г. Кунгуре Пермской области. После окончания Кунгурского техникума и службы в армии поступил в Уральский политехнический институт на специальность «Подъемно-транспортные машины и оборудование», который окончил в 1964 году. Трудовую деятельность начал в Институте горного дела Министерства черной металлургии СССР (1964-1979). В 1969 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Исследование параметров вибрационных

грохотильных установок для загрузки конвейеров в комплексах ЦПТ». В 1989 г. защитил докторскую диссертацию на тему «Научно-технические основы создания перегрузочных систем комбинированного транспорта в глубоких карьерах». С 1980 г. Аркадий Васильевич работал в Свердловском горном институте ныне УГГУ: 1980-1992 гг. – доцент, 1992-1996 гг. заведующий кафедрой горнопромышленного транспорта, с 2011 по 2020 год – профессор кафедры горных машин и комплексов. Специалист в области горнотранспортного и подъемно-транспортного машиностроения, комплексов карьерного комбинированного транспорта и циклично-поточной технологии, загрузочных и перегрузочных систем, технологии и технических решений комплексов при отработке закарстованных месторождений карбонатного сырья.

Основные труды посвящены разработке и внедрению в производство техники и технологии перегрузочных систем в глубоких карьерах, самоходных дробильных и грохотильных агрегатов, перегрузочных устройств циклично-поточной технологии и комбинированного транспорта, сверхтяжелых вибрационных питателей-грохотов для карьеров, транспортно-перегрузочных систем с гибкими свойствами; теории оптимального процесса перегрузки в глубоких карьерах на основе применения мобильных, с гибкими свойствами, модульных перегрузочных систем и вибропроцессов. Принадлежит к уральской научной школе транспортников открытых разработок и циклично-поточной технологии.

Подготовил 6 кандидатов наук, 1 доктора наук. Участник международных и Всесоюзных конференций по карьерному транспорту, вибрационной технике и технологии открытых горных работ. Автор и соавтор 192 печатных работ и учебных пособий, 3 монографии и 24 авторских свидетельств на изобретения.

А.В. Юдин награжден знаком почетного работника высшего профессионального образования РФ, его заслуги отмечены почетными грамотами Губернатора и Правительства Свердловской области, Почетной грамотой Министерства образования РФ.

Аркадий Васильевич воспитал сына, и радовался появлению внуков.

Воспоминания Порожского Константина Павловича.

У Аркадия Васильевича Юдина и Петра Акимовича Касьянова много общего. Во-первых, год рождения и происхождение, как говорят, из рабочих. Они оба окончили Уральский политехнический институт оду кафедру подъемно-транспортных машин, оба трудились в Горном университете. Их можно с уверенностью отнести к учёным «старой» школы механиков, интеллектуалам-интеллигентам, хорошо знающих своё дело и преданным этому одному делу, не рыскающими по курсу.

Но в то же время они очень разные.

Аркадий Васильевич, страстный учёный и специалист в области вибрационной техники, склонный к неординарным поступкам, горячий в спорах и азартный в танце. Можно было часто наблюдать, как горячо спорил

он с оппонентами, доказывая те или иные положения теории и практики. В своих трудах он использовал вибрацию как инструмент повышения эффективности технологических процессов горного производства. Это был яркий лидер, специалист, который знал и, главное, любил своё дело. Он был требователен к студентам и аспирантам, стремился к тому, чтобы они самостоятельно и глубоко изучили предмет исследований. При всей своей принципиальности, он часто благосклонно относился к ошибкам и недоработкам коллег.

Петр Акимович – спокойный, рассудительный, уверенный в своих действиях. Его трудно было вывести из себя. В своих трудах он напротив, рассуждал о том, как уменьшить негативное влияние вибрации на ресурс горных машин. Он стремился убедить студентов в необходимости глубже вникать в суть процессов, глубоко и тщательно изучать конструкцию машин и механизмов, был склонен к индивидуальной кропотливой работе со студентами. Ещё хочу отметить его любовь к природе, грибной и ягодной охоте, прогулкам на лыжах.

Воспоминания Шестакова Виктора Степановича.

С Юдиным Аркадием Васильевичем и Касьяновым Петром Акимовичем я проработал около 40 лет.

С Аркадием Васильевичем последние 7 лет мы вместе работали по научному исследованию грохотов, он разрабатывал математические модели, а я составлял программы для ЭВМ по имитационному моделированию рабочего процесса. Мне импонировала увлеченность Аркадия Васильевича, интерес к полученным результатам, ему все время хотелось рассмотреть еще что-то новое, причем получать результаты как можно скорее. Видя такую увлеченность, трудолюбие, интерес к новому, мне было интересно работать с Аркадием Васильевичем.

Петр Акимович был основательным и ответственным специалистом. В начале моей трудовой деятельности на кафедре мы вместе проводили исследования по экскаваторам для Уралмашзавода. Петр Акимович разрабатывал математическое описание рабочего процесса, а я разрабатывал программное обеспечение и проводил исследования. Мне очень понравились его приемы выполнения исследований – вначале получение модели с наличием допусков, проведение исследований на цифровой модели, затем усложнение модели по последовательному исключению использованных ранее допущений. По результатам исследований по усложненной модели Петр Акимович проводил анализ – нужно ли усложнять модель или при незначительности влияния допущений оставить их в конечной модели. Такой накопленный опыт я до сих пор применяю в своих работах.

Воспоминания Комиссарова Анатолия Павловича.

С Аркадием Васильевичем меня связала судьба в Восточной Германии в 1963 году, где группа студентов кафедры «Подъемно-транспортные машины (ПТМ)» УПИ проходила преддипломную практику на заводах тяжелого машиностроения в Магдебурге и Лейпциге. В состав группы Арка-

дий был включен в последнюю минуту, так как он учился на другой кафедре и был недавно переведен на кафедру ПТМ. На практике мы познакомились и даже подружились (по окончании практики Аркадий подарил мне сувенир на память).

Наша дружба возродилась через много лет, когда Аркадий стал работать в СГИ в 1984 г. в качестве доцента на кафедре горнопромышленного транспорта. К этому времени Аркадий стал крупным специалистом по карьерному транспорту, в частности, по разработке и внедрению техники и технологии перегрузочных систем, самоходных дробильных и грохотильных агрегатов, сверхтяжелых вибрационных питателей и др.

Аркадий привлекал меня к участию в этих разработках. В частности, большая работа была проведена на Чаньвинском карьере в г. Березники. По результатам этой работы аспирантом Аркадия Васильевича была выполнена кандидатская диссертация и успешно защищена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <https://www.ursmu.ru/>

УДК 622.68:553.3.9

**ИМПОРТОНЕЗАВИСИМОСТЬ ГОРНОТРАНСПОРТНОГО
ОБОРУДОВАНИЯ – ИНСТРУМЕНТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЛИДЕРСТВА ПРИ ОСВОЕНИИ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Глебов А.В., д-р техн. наук, зам. директора по научным вопросам, glebov@igduran.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела
Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия

В текущий момент времени горно-металлургическая отрасль экономики России по-прежнему остается экспортно-ориентированной. Одним из стратегических направлений комплексного развития горного, металлургического и машиностроительного производства в современных условиях является поиск путей реструктуризации и модернизации производства, внедрения принципиально новых отечественных технологий и техники.

Ключевые слова: технологическое лидерство, технологии, импортонезависимость, горно-транспортное оборудование, машиностроение, горнодобывающее предприятие

**IMPORT INDEPENDENCE OF MINING TRANSPORT EQUIPMENT - A TOOL FOR
ENSURING TECHNOLOGICAL LEADERSHIP IN THE DEVELOPMENT OF SOLID
MINERAL DEPOSITS**

Glebov A.V.

At the present time, the mining and metallurgical sector of the Russian economy remains export-oriented. One of the strategic directions of the integrated development of mining, metallurgical and mechanical engineering production in modern conditions is the search for ways to restructure and modernize production, introduce fundamentally new domestic technologies and equipment.

Keywords: technological leadership, technologies, import independence, mining and transport equipment, mechanical engineering, mining enterprise

Предприятия горно-металлургической отрасли России являются одними из крупнейших потребителей продукции машиностроения, в первую очередь тяжёлого, энергетического и транспортного, значительная часть которого составляют машины и оборудование импортного производства. Это подтверждается статистическими данными.

На примере Уральского федерального округа (УрФО) видно, что в первом полугодии 2021 года экспортировалось 57% минеральных продуктов и 29% металлов и изделий из них, в 2022 году 60% экспорта из УрФО снова составили металлы и изделия из них, при этом 50% импорта составили станки, оборудование и механизмы [1].

По данным Федеральной таможенной службы России [2] в общей структуре товаров, экспортируемых Российской федерацией в 2021 году, доля экспорта минеральных продуктов составила 56,2 %, металлов и изделий из них 6,8 %, машин, оборудования и транспортных средств всего 6,6 %. При этом импортировалось в Российскую федерацию минеральных продуктов 1,9 %, металлов и изделий из них 7,3 %, машин, оборудования и транспортных средств 49,3 %.

В 2024 году внешнеэкономическая деятельность России продолжила сталкиваться с проблемами, обусловленными глобальными экономически-

ми и геополитическими изменениями. По данным интернет-платформы DIGITAL ВЭД [3] в 2024 году основными товарами, экспортируемыми из России, остались нефть и газ. Импорт претерпел существенные изменения в связи с геополитической обстановкой и введением западных санкций. За первую половину 2024 года, объем импорта снизился на 12,8% по сравнению с аналогичным периодом 2023 года, что связано с сокращением поставок из стран ЕС и США.

Россия продолжает наращивать сотрудничество с азиатскими странами, такими как Китай и Индия, при этом особую роль в импорте занимают технологические товары. В условиях санкций и ограниченного доступа к западным технологиям, Россия ищет новые рынки для приобретения оборудования и электроники, в том числе для горнодобывающего сектора экономики, активно сотрудничая с производителями из Юго-Восточной Азии [3].

По словам начальника Уральского таможенного управления Алексея Фролова: «В структуре импорта 2023 года основная доля 38% - это, станки, оборудование, механизмы, которые поступают на наши промышленные предприятия, 18% - продукция химической промышленности, 15% - металлы и металлические руды, 11% - продовольственные товары, 4% - одежда и обувь». Что касается экспорта, он отметил: «В товарной структуре экспорта традиционно черные и цветные металлы и изделия из них (52%), а также продукция химической промышленности (31%)» [4].

Таким образом, на протяжении уже многих лет, российские предприятия продолжают активно закупать технику и оборудование за рубежом.

В настоящее время мировые производители горнотранспортного оборудования находятся в условиях "жесткой" борьбы за потребителя, на рынке представлено множество различных производителей горнотранспортного оборудования. Санкционная политика привела к значительному расширению рынка карьерной техники за счет азиатского региона. Сегодня в мире насчитывается более 20 крупнейших фирм-производителей карьерных автосамосвалов и экскаваторов. Например, количество базовых моделей карьерных автосамосвалов одного класса грузоподъемности разных фирм-производителей варьируется от 1 до 13 ед., а количество их модификаций от 1 до 26 единиц.

На открытых горных работах широко стали применяться шарнирно-сочлененные самосвалы, которые вполне могут составить конкуренцию карьерным автосамосвалам [5, 6], особенно при отработке россыпных месторождений полезных ископаемых, а также при освоении глубокозалегающих крутопадающих месторождений карьерами, глубиной свыше 500 м. Количество базовых моделей таких машин одного класса грузоподъемности на Российском рынке достигает 13 единиц. Количество модификаций карьерных автосамосвалов одного класса по грузоподъемности основных фирм производителей достигает 32 единиц.

Количество моделей гидравлических экскаваторов с эксплуатационной массой свыше 100 т, одного класса полезной весовой нагрузки, колеблется от 1 до 10 ед., а их модификаций от 1 до 23 единиц. Количество моделей электрических экскаваторов с канатным напором эксплуатационной массой свыше 8 т изменяется от 2 до 9 ед., а их модификаций – от 2 до 11 единиц. Стоит отметить, что к освоению производства гидравлических экскаваторов вплотную подошли BELAZ и ПАО «Уралмашзавод», выпусктив экскаваторы ВХ20012 с емкостью ковша 12 м³ массой 200 т и УГЭ-300 с емкостью ковша 16 м³ массой 300 т.

Два года назад Президент Российской Федерации В.В. Путин на экономическом форуме сказал: «... Если мы будем лишь повторять других, пытаться заменить пусть и самыми качественными копиями иностранные товары, то будем находиться в позиции постоянно догоняющих. **А надо быть на шаг впереди, создавать собственные конкурентные технологии, товары и сервисы, которые способны стать новыми мировыми стандартами**». А в декабре 2024 года принят Федеральный закон «О технологической политике в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты» №523-ФЗ, в котором **технологическое лидерство Российской Федерации** определено как – **технологическая независимость Российской Федерации**, выражающаяся в разработке отечественных технологий и создании продукции с использованием таких технологий с сохранением национального контроля над критическими и сквозными технологиями на основе собственных линий разработки технологий в целях экспорта конкурентоспособной высокотехнологичной продукции и (или) замещения ею на внутреннем рынке продукции, создаваемой на базе устаревших и (или) иностранных технологий, а также **превосходство** таких технологий и продукции **над зарубежными аналогами**.

Технологическое лидерство практически во всех отраслях промышленности необходимо основывать на приоритетном сырьевом наполнении развиваемых и формируемых на территории РФ станкостроительных, машиностроительных, строительных и других промышленных кластеров. При этом их развитие должно обеспечиваться научным сопровождением в части совершенствования и разработки новых промышленно безопасных и экологически чистых технологий добычи и глубокой переработки минерального сырья, в том числе из трудноизвлекаемых запасов полезного ископаемого, включая техногенно-минеральные образования.

Инфраструктурное сопровождение исследований в области геологоразведочных работ, добычи и промышленной переработки твердых полезных ископаемых, необходимо обеспечивать на основе импортнезависимых технологий, техники и оборудования российского производства.

Для эффективной замены импорта требуется инвентаризация оборудования и составление балансов по отдельным видам продукции, для чего необходимо провести технико-технологический аудит на действующих горных предприятиях с целью разработки инновационных технологий до-

бычи, рудоподготовки, обогащения и производства товарной продукции с учетом потребности в сырье и ценовой перспективы.

Необходим государственный контроль (на примере госплана) за спросом и предложением на рынке горного машиностроения, на основе программы замещения импортного горнотранспортного оборудования отечественным в краткосрочном, среднесрочном и долгосрочном периоде с учетом возможностей и перспектив развития машиностроительной промышленности. Начать нужно с актуализации перечня оборудования и запасных частей (горнотранспортного, обогатительного, дробильно-размольного, бурового и проходческого оборудования, погрузочной шахтной техники, конвейерного оборудования) совместно с добывающими и производственными компаниями с одновременным регулированием ввозных таможенных пошлин на импорт такой техники.

Кроме, принимаемых государством, мер поддержки предприятий по обеспечению технологического лидерства, самим предприятиям необходимо ускорить развитие станкостроения и обеспечить машиностроительные предприятия высокотехнологичным оборудованием. При этом институтам, ведущим исследования в области горного дела, разработать нормативно-методическую и регламентирующую документацию для проектирования разработки и освоения различных типов месторождений полезных ископаемых с учетом мирового и передового отечественного уровня развития технологий добычи и горной техники.

Научным сообществом ведется активная работа по созданию передовых техники и технологий, но зачастую их внедрение требует значительных материальных и временных затрат, что в рыночных условиях не могут себе позволить большинство недропользователей, осуществляющих освоение месторождений твердых полезных ископаемых.

Недропользователям пора научиться доверять инновациям, разрабатываемыми российскими научными коллективами! Вместе мы обеспечим технологическое лидерство!!!

Список литературы

1. Шиллер А. На Урале незначительно снизился внешнеторговый оборот [сайт]. – URL: <https://rg.ru/2023/02/01/reg-urfo/pandemiia-bila-bolnee.html> (дата обращения: 20.01.2025).
2. Информационно-аналитические материалы, срочные публикации и комментарии [сайт]. – URL: https://rosstat.gov.ru/statistics/vneshnyaya_torgovlya (дата обращения: 20.01.2025).
3. Статистика экспорта и импорта России 2024 [сайт]. – URL: <https://digitalved.ru/newspage/statistika-eksporta-i-importa-rossii-2024> (дата обращения: 20.01.2025).
4. Внешнеторговый оборот в УрФО в 2023г сократился на 14% [сайт]. – URL: <https://www.interfax-russia.ru/ural/news/vneshnetorgovyuy-oborot-v-urfo-v-2023g-sokratilsya-na-14> (дата обращения: 15.01.2025).
5. Глебов А.В. К вопросу импортонезависимости на примере производства шарнирно-сочлененных самосвалов для освоения месторождений твердых полезных

ископаемых // Проблемы недропользования. 2023. № 3(38). С. 68-78. DOI 10.25635/2313-1586.2023.03.068.

6. Глебов А.В. Технологические особенности освоения месторождений твердых полезных ископаемых с использованием шарнирно-сочлененных самосвалов // Наука и техника. 2018. Т. 17, № 3. С. 238-245. DOI 10.21122/2227-1031-2018-17-3-238-245.

УДК 621.271.022

ПРИОБРЕТЕННЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ БАКАЛАВРА В ПРОЕКТИРОВАНИИ ГОРНОТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

Великанов В. С.^{1,2} проф. д.т.н., **Ситдикова С. В.**² ст. преподаватель,
Милютин А.Ю.¹ студент

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

²«Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург

В настоящее время в РФ очевиден устойчивый интерес к инженерному образованию. Сегодняшние высшие учебные заведения сталкиваются с задачей формирования нового типа специалистов. Эти специалисты должны быть готовы к эффективной работе в условиях постоянно изменяющегося экономической и социальной среды, уметь адаптироваться к новым требованиям в профессиональной сфере. Достижение этой цели требует тесного сочетания образовательного процесса с научной работой. Для этих целей наиболее целесообразно использовать компетентностный подход, акцентированный на результатах образования, выраженных в форме компетенций.

Ключевые слова: бакалавр, компетенции, экскаватор, кабина

THE ACQUIRED COMPETENCES OF THE BACHELOR DEGREE IN DESIGNING MINING TRANSPORT MACHINES

Velikanov V. S., Sitdikova S. V., Milyutina A. Yu.

At present, there is an obvious steady interest in engineering education in Russia. Today's higher education institutions are faced with the task of forming a new type of specialists. These specialists must be prepared to work effectively in a constantly changing economic and social environment and be able to adapt to new requirements in the professional sphere. Achieving this goal requires a close combination of the educational process with scientific work. For these purposes, it is most appropriate to use a competency-based approach, focusing on the results of education, expressed in the form of competencies.

Keywords: bachelor, competencies, excavator, cabin

В рамках обновления системы высшего образования в РФ ключевую роль играет эволюция и текущие направления в области подготовки инженерных кадров, которые значительно влияют на стабильное научно-техническое развитие страны, при этом особое внимание уделяется применению инновационных подходов в процессе обучения, что в итоге считается ключом к повышению компетенций студентов технических специальностей. Стремление к обеспечению студентов не только профессиональными навыками, но и развитием уникальных личностных качеств, соответствует требованиям образовательных стандартов и направлено на успешную про-

фессиональную интеграцию выпускников. В настоящее время, при реализации образовательных программ технического направления, вузы ставят во главу угла развитие инженерного мышления студентов, подчеркивая его значимость для формирования способностей, необходимых современному специалисту.

Для этих целей наиболее целесообразно использовать компетентностный подход, акцентированный на результатах образования, выраженных в форме компетенций. Проектную деятельность можно рассматривать как элемент стыковки интересов предприятия и вуза, а ее ценность определяется не просто изучением определенной дисциплины, а созданием образовательного продукта [1]. В связи с этим в Уральском федеральном университете сделан акцент на проектном обучении, оно внедрено в бакалавриате и магистратуре, при этом развивая у обучающихся способность к междисциплинарной коммуникации и прививая им новые качества, присущие современному профессиональному инженерному сообществу.

Конкретизируем область исследований, в данной публикации, представлены результаты проектирования не всей технологической машины (на примере, карьерного экскаватора ЭКГ-12К), а отдельной части конструкции, а именно кабины. Значительная часть горнотранспортных машин (ГТМ), используемых в различных отраслях промышленности требуют присутствия человека (оператора), поэтому проектирование и совершенствование конструкции рабочего места, для обеспечения максимальной безопасности условий труда, несомненно, актуальная задача [2-6]. В РФ производством кабин для ГТМ занимаются несколько компаний, среди них можно выделить следующих производителей кабин: Петрокаб, Бриз, Вектор (рис. 1).



«Петрокаб»



«Бриз»



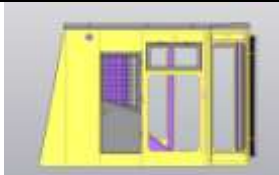
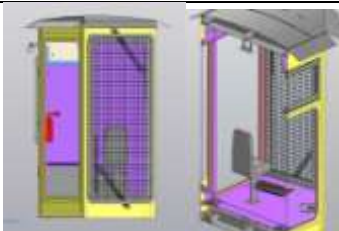
«Вектор»

Рис. 1. Кабины отечественных производителей

В качестве изначального референса для проектирования кабины используются фотографии, размещенные в свободном доступе в сети интернет и технические требования на разработку кабины экскаватора. Исходя из общих технических требований и анализа кабин отечественных и зарубежных производителей, можно выделить ряд типовых технических решений, характеризующих необходимый функционал современной кабины -

должна быть вибро- и шумозащищенная; включать в себя рабочее помещение с местом для установки виброизолированного кресла, пульта управления и помещения для отдыха; включать в себя остекление безопасным стеклом; подогрев стекол; кондиционер; форточки; устройства для защиты лица машиниста от попадания солнечных лучей; светодиодные осветительные приборы (прожектора, светильники), стол для записи; стенки кабины выполнены из стали толщиной 2 мм; масса кабины не должна превышать 4 тонн в сборе. Габариты кабины: высота 2830 мм, длина крыши кабины 3690 мм (без учета козырьков), длина основания кабины 3165 мм, ширина кабины сзади 2105 мм. Для проектирования кабины первоначальное построение 3Д-модели кабины выполняется в учебной версии программы «КОМПАС-3Д». Построение 3Д-модели необходимо производить постепенно, так как сборка кабины — это длительный и постепенный процесс, состоящий из множества крупносерийных и мелкосерийных сборок, содержащее в себе множество отдельных деталей. Кабина разбита на следующие под сборки (табл.) [3-8].

Таблица. Часть поэлементной разбивки кабины

элемент	описание	реализация
основание	каркас основания выполнен из труб 100x100x6 из материала 09Г2С, внешняя обшивка основания выполнена из листа Ст3Сп, а внутренняя из стального листа толщиной 1,5	
каркас	каркас кабины является связующим звеном между крышей и основанием кабины; применение разных профильных труб в каркасе позволяет придать кабине необычную форму и облегчить конструкцию	
внутренняя обшивка	на этапе внутренней обшивки кабины происходит установка двери, окон, внутренних ограждений, которые присутствуют в кабине, установка теплоизоляции и шумоизоляции	
сборка кабины с оборудованием	сборка с оборудованием - завершающий этап в проектировании кабины. На этапе сборки с оборудованием происходит расстановка и крепление оборудования к закладным, которые были выполнены на этапе каркаса кабины	

Заключение

Конструирование и воплощение в жизнь проекта представляют собой процесс, который одновременно требует творчества и усидчивости, и который способствует развитию у молодежи критически важных для современного быстро меняющегося мира навыков проектного и системного мышления. Это направление обучения дает возможность личностному выражению, саморазвитию и достижению личных целей. Практически ориентированное образование помогает в успешной интеграции в общество, приобретении профессиональных компетенций, необходимых для будущей карьеры и обеспечения конкурентоспособности на рынке труда; оно также способствует развитию независимости, настойчивости, ответственности и предприимчивости.

Список литературы

1. Тарасова О. П., Халиуллина О. Р. Сущность понятия «проектность» и «креативность», их взаимосвязь в дизайне. // Вестник Оренбургского государственного университета. 2014. № 5(166). С. 100–105.
2. Эффективность функционирования карьерного экскаватора как эргатической системы / Д. А. Шибанов, С. Л. Иванов, Е. И. Шешукова, Е. С. Недашковская // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2023. № 11–1. С. 144–158.
3. Великанов В. С. Повышение эффективности эксплуатации карьерных гусеничных экскаваторов с оборудованием «прямая механическая лопата»: специальность 05.05.06 «Горные машины»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук – Екатеринбург, 2009. 18 с.
4. Великанов В. С., Исмагилов К. В. Проектирование отечественных мехлопат с учетом требований рынка горной техники и эргономических показателей // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 2. С. 30–32.
5. Великанов В. С. Реализация подходов по совершенствованию эргономических показателей карьерных экскаваторов. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, 2011. 85 с.
6. Шабанов А. А., Великанов В. С. Обзор исследований и перспективные направления в эргономическом обеспечении проектирования горных машин и комплексов // Вестник КузГТУ. 2013. №6. С. 46–50.
7. 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.
8. Великанов В. С. Повышение эффективности эксплуатации карьерных гусеничных экскаваторов с оборудованием «прямая механическая лопата»: специальность 05.05.06 «Горные машины»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Екатеринбург, 2009. 119 с.

УДК 622.331(09)

ОРГАНИЗАЦИЯ ДОБЫЧИ ТОРФА В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ (к 80-летию великой Победы)

Копенкина Л.В., доцент,

Тверской государственной технической университет, г. Тверь, Россия

В статье отмечается большое значение торфяного топлива для обеспечения электростанций и предприятий нашей страны в годы Великой Отечественной войны. Вся тяжесть работ по добыче торфа легла на плечи женщин-торфяниц в годы войны. В 1942 году вышло более 20 Постановлений СНК СССР, связанных с добычей торфа и работой торфопредприятий. В 1943-1945 гг. - 17 Постановлений СНК СССР, в том числе о всесоюзном социалистическом соревновании торфяных предприятий, восстановлении и строительстве торфопредприятий.

Ключевые слова: торфопредприятия, торфяное топливо, добыча торфа, Великая Отечественная война.

THE ORGANIZATION OF PEAT EXTRACTION DURING THE GREAT PATRIOTIC WAR (to mark the 80th anniversary of the Great Victory)

Kopenkina L.V.

The article notes the great importance of peat fuel for supplying power plants and enterprises of our country during the Great Patriotic War. The entire burden of peat extraction fell on the shoulders of women peat workers during the war. In 1942, more than 20 Resolutions of the Council of People's Commissars of the USSR were issued related to peat extraction and the work of peat enterprises. In 1943-1945 - 17 Resolutions of the Council of People's Commissars of the USSR, including on the all-Union socialist competition of peat enterprises, restoration and construction of peat enterprises.

Keywords: peat enterprises, peat fuel, peat extraction, Great Patriotic War.

С началом Великой Отечественной войны значение торфа как местного топлива возросло, поскольку были нарушены поставки других источников энергоресурсов. Торф стал стратегическим сырьем, основным видом топлива для многих областей страны [1]. Необходимо было обеспечить топливом электростанции, фабрики и заводы, на которых изготавливалась оборонная продукция. Москва почти полностью обеспечивалась электроэнергией с электростанций, работавших на торфяном топливе – Шатурской, Ореховской, имени Классона. Также работали на торфяном топливе 5-я и 8-я электростанции под Ленинградом, электростанции, входившие в единую энергосистему Центра – Ивановская, Ярославская, Владимирская.

В годы войны добыча торфа уменьшилась в связи с временной оккупацией части торфопредприятий. Вся тяжесть работ по добыче торфа легла на плечи женщин, которые самоотверженно трудились на торфяных полях, в карьерах гидроторфа, у гидромониторов, на тракторах и кранах, на рытье и ремонте осушительной сети, слесарями [2]. Канавные работы на торфопредприятиях считались наиболее тяжелыми и трудоемкими, в годы войны их выполняли женщины-торфяницы.

В дни ленинградской блокады топливо в небольших количествах подавалось в госпитали, больницы, детские садики, ясли, роддом, дом малютки и детские дома. Топили брикетами из торфа. Крупные в 1930-е годы

торфопредприятия Назия, Жихарево, Синявино, Ириновское под Ленинградом перешли на военное положение. Необходимо было быстро увеличивать мощность производства, для чего требовались дополнительные рабочие руки, техника, мастерские для срочного ремонта этой техники, места для проживания такого количества людей, узкоколейка для провоза грузов до побережья Ладоги. В сентябре 1941 года начался дополнительный призыв на работу на эти предприятия [3].

Государственный союзный трест по строительству торфяных предприятий и добыче торфа «Оборонторфстрой» организован в г. Москве на основании постановления Экономического совета при СНК СССР от 6 декабря 1940 г., приказа Наркомата вооружения СССР от 13 декабря 1940 г. Он осуществлял руководство торфяными предприятиями на территории Удмуртии, снабжение торфом предприятий Наркомата вооружения СССР. Входил в систему Наркомата вооружения СССР. Переименован в Союзный Ижевский торфяной трест Наркомата вооружения СССР (трест «Ижторф») с местонахождением в г. Ижевске в соответствии с приказом Наркомата вооружения СССР от 26 ноября 1942 г. [4].

8 октября 1941 года вышло Постановление СНК СССР № 2134 «О плане снабжения народного хозяйства торфом на IV квартал 1941 года [5].

В 1942 году вышло более двадцати Постановлений СНК СССР, связанных с добычей торфа и работой торфопредприятий, в том числе о добыче торфа предприятиями Наркомэлектростанций, в том числе в Ленинградской области, Наркомтекстиля, Наркомпищепрома, Наркомлегпрома СССР, Наркомместтоппрома РСФСР, о дополнительной мобилизации рабочих для торфопредприятий Наркомэлектростанций в Кировской области, Наркомсудпрома, Наркомбоеприпасов, Наркомхимпрома, Наркомавиапрома, Наркомлегпрома, Наркомстройматериалов, Наркомбумпрома СССР, 600 рабочих для работы на торфопредприятиях Наркомцветмета в Свердловской области, 300 человек из числа сельского населения в Башкирской АССР и Челябинской области для работы на торфоразработках Наркомчермета, об обеспечении рабочей силой торфоразработок в Татарской АССР, о привлечении граждан Башкирской АССР на заготовку и вывозку торфа для предприятий союзной, республиканской и областной промышленности и промышленных городов, в Ярославской области 300 колхозников для работы на Купанском торфопредприятии Наркомрыбпрома СССР, об обеспечении рабочей силы торфопредприятий Наркомата электростанций, о порядке премирования руководящих и инженерно-технических работников торфопредприятий наркоматов и ведомств, о перевозе двух котлов ТЭЦ Горьковского автозавода им. Молотова Наркомсредмаша с мазута на торф [6].

В 1943-1945 годах вышло семнадцать Постановлений СНК СССР, в том числе о работе на лесозаготовках и на погрузке и вывозке торфа 22 и 23 января 1943 г., о всесоюзном социалистическом соревновании торфяных предприятий Наркомтекстиля, Наркомпищепрома, Наркомлегпрома,

Наркомстройматериалов, Наркомбумпрома и Наркомвооружения, о работе торфопредприятий наркоматов и ведомств 1 и 2 мая 1943 года, о строительстве Моделовского торфопредприятия Наркомэлектростанций, о повышении окладов научным работникам Центральной торфяной опытной станции и Грибовской овощной селекционной станции, об обеспечении ТЭЦ Горьковского автозавода им. Молотова Наркомсредмаша торфом и углем [7], об организации добычи торфа для ТЭЦ Марийского целлюлозно-бумажного комбината Наркомбумпрома, о вывозке торфа с торфопредприятий Наркомместтоппрома РСФСР и снабжении торфом промышленных предприятий и коммунально-бытовых учреждений Московской области, об организации базы торфяного машиностроения в системе Наркомместтоппрома РСФСР, об обеспечении рабочей силой торфопредприятия Наркомата электростанций, о дополнительной мобилизации 11500 человек для работы на торфопредприятиях Наркомэлектростанций, переключения на сушку и уборку торфа рабочих, занятых на строительных работах, о мероприятиях по борьбе с торфяными пожарами на торфопредприятиях Наркомэлектростанций, об обеспечении уборки торфа и неотложных мерах помощи торфопредприятиям Белорусской ССР, о строительстве малых торфобрикетных заводов, об организации вечерних энергетических и торфяных техникумов Наркомата Электростанций [8], о плане добычи торфа на 1945 год, восстановлении и строительстве торфопредприятий местной топливной промышленности Белорусской ССР [9].

В 1942 году было организовано Всесоюзное социалистическое соревнование предприятий и строителей Народного комиссариата электростанций СССР за полное и бесперебойное обеспечение электроэнергией и теплом промышленности, за максимальную экономию топлива и электроэнергии, за перевыполнение планов добычи. В журнале «Торфяная промышленность» было опубликовано Обращение рабочих, инженерно-технических работников и служащих Государственной ордена Ленина Каширской районной электростанции имени Л.М. Кагановича, в том числе к работникам торфяной промышленности [10].

В соответствии с Постановлением Государственного Комитета Обороны от 4 декабря 1942 года колхозы были обязаны обеспечивать колхозников, работающих на торфопредприятиях, хлебом и кормами для скота по государственным закупочным ценам. Они освобождались от обязательной поставки молока. Торфяники получали повышенное продовольственное снабжение и натуральное премирование в зависимости от выполнения норм выработки за декаду.

В период военной обстановки научные работы Центральной торфяной опытной станции (ЦТОС) были перестроены на оборонную тематику [11]. Требовалось ускорить выявление и уточнение запасов торфа и их географическое размещение.

В 1944 году вышло Постановление Государственного Комитета Обороны «О строительстве и восстановлении торфяных предприятий». Имело

значение для улучшения жилищно-бытовых условий торфяников. Дало возможность развернуть строительство и благоустройство торфопредприятий. Продолжали строиться торфопредприятия на Урале, в Кировской, Ивановской и других областях.

Для выполнения плана нового строительства и восстановления торфопредприятий в 1945 году было организовано Главное управление по строительству торфопредприятий Главторфострой, на которое были возложены организация и руководство всеми проектно-изыскательскими и строительно-монтажными работами по строительству новых и восстановлению разрушенных торфопредприятий НКЭС, а также организация необходимых для этого подсобных предприятий [12].

К 1948 году общий размер добычи торфа в Советском Союзе составил 34,4 млн т, что превышало довоенный уровень 1940 года (33,2 млн т).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баусин А.Ф. Вклад торфяников в дело обороны Родины // Торфяная промышленность. 1943. № 6. С. 7–8.
2. Опыт внедрения женского труда на добыче гидроторфа // Торфяная промышленность, 1942. №4. С. 12.
3. Леонтьева Н. Д. Все для фронта, все для Победы. О работе женщин-тружениц тыла под Ленинградом: https://hystory.mediasole.ru/vs_dlya_fronta_vs_dlya_pobedy_o_rabote_zhenschintruzhenic_tyla_pod_leningradom (дата обращения 04.01.2025).
4. <http://gasur.ru/archguide/DATA/default.htm?url=Documents%2F1940195919632002.htm> (дата обращения 19.01.2025).
5. <https://statearchive.ru/snk/pp41.htm> (дата обращения 19.01.2025).
6. <https://statearchive.ru/snk/pp42.htm> (дата обращения 19.01.2025).
7. <https://statearchive.ru/snk/pp43.htm> (дата обращения 19.01.2025).
8. <https://statearchive.ru/snk/pp44.htm> (дата обращения 19.01.2025).
9. <https://statearchive.ru/snk/pp45.htm> (дата обращения 19.01.2025).
10. Организуем Всесоюзное социалистическое соревнование предприятий и строителей Народного комиссариата электростанций СССР // Торфяная промышленность, 1942. №3. С. 1-2.
11. Нейштадт М.И., Оленин А.С. Помощь в мобилизации ресурсов торфа (из работ географов Центральной торфяной опытной станции Наркомзема РСФСР) // Вопросы географии. Сб. 128: Советские географы фронту и тылу (1941-1945 гг.). М., 1985. С. 209-212.
12. 40 лет торфяной промышленности СССР. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1957. С. 148.

УДК 378.1

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЕТЕНЦИЙ IT-СПЕЦИАЛИСТОВ ПОСРЕДСТВОМ ИНТЕРАКТИВНЫХ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ

Абрыхимова А.М., магистрант, **Ерахтина И.И.**, к.п.н., доцент
¹Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова,
г. Караганда, Казахстан

Статья посвящена возможностям применения интерактивных методов обучения на развитие творческих способностей у обучающихся в системе технического профессионального образования. В условиях интенсивной цифровизации образовательных процессов и трансформации образовательных технологий возникает необходимость в поиске эффективных методов обучения, способствующих формированию у обучающихся навыков, отвечающих вызовам современного рынка труда.

Ключевые слова: интерактивные методы обучения, творческие способности, техническое образование, цифровизация, инновационные подходы, креативность, образовательные технологии, вовлеченность.

FORMATION OF PROFESSIONAL AND TECHNICAL IT-SPECIALISTS' COMPETENCIES THROUGH INTERACTIVE TEACHING METHODS

Abryakhimova A.M., Yerakhtina I.I.

The article is devoted to the possibilities of using interactive teaching methods to develop students' creative abilities in the system of technical vocational education. In the context of intensive digitalization of educational processes and transformation of educational technologies, there is a need to find effective teaching methods that contribute to the formation of students' skills that meet the challenges of the modern labor market.

Keywords: interactive teaching methods, creativity, technical education, digitalization, innovative approaches, creativity, educational technologies, engagement.

Современное развитие информационных технологий ставит задачи перед системой образования, выходящие за рамки традиционной дидактической функции, включая развитие креативного мышления и раскрытие творческих возможностей личности. В этом контексте особую роль играют образовательные учреждения, разрабатывающие программы, направленные на формирование профессиональных компетенций, соответствующих требованиям глобального рынка [1].

КГКП «Карагандинский профессионально-технический колледж», адаптируясь к вызовам времени, внедряет образовательные программы, нацеленные на подготовку специалистов в области информационных технологий. Ключевыми аспектами такой подготовки являются интеграция инновационных методов обучения, развитие критического мышления, творческого подхода и готовности к решению нестандартных задач [2]. Сегодня концепция государственной политики в области образования в РК ориентирована на формирование многогранного и социально ответственного гражданина, способного эффективно реагировать на вызовы современной эпохи [3]. Предполагается, что использование инновационных ин-

терактивных методов обучения, будет способствовать эффективному развитию творческих способностей у обучающихся колледжа – техников.

Для проведения исследования выбрана специальность 1305000 - Информационные системы (по областям) с 2 квалификациями: 1305023 - Техник-программист и 1305011 – Дизайнер. Обучение проводится в очной форме, нормативный срок обучения составляет 2 года 10 месяцев или 3 года 10 месяцев на базе основного среднего образования. Данный выбор обусловлен высокой актуальностью данных направлений подготовки в условиях цифровизации экономики, широким спектром профессиональных компетенций, формируемых в процессе обучения, и значительным потенциалом для применения инновационных образовательных технологий.

Выпускники квалификации 1305023 Техник-программист, ориентированы на подготовку в области разработки программного обеспечения. Обучающиеся по этой специальности, получают теоретические знания, которые охватывают все стадии разработки программных продуктов – от анализа требований и проектирования до тестирования и реализации. Обучение включает освоение различных языков программирования, технологий создания и поддержки программного обеспечения, а также основы работы с базами данных и обеспечения безопасности информационных систем.

В свою очередь, выпускники квалификации 1305011 – Дизайнер, должны обладать навыками проектирования и разработки веб-сайтов и веб-приложений, которые отвечают современным требованиям функциональности и дизайна. Обучающиеся осваивают различные подходы к созданию удобных и эстетически привлекательных пользовательских интерфейсов, изучают основы UX/UI-дизайна и приобретают навыки работы с современными графическими и мультимедийными инструментами. Важное внимание уделяется разработке адаптивных веб-страниц, а также созданию интерактивных элементов с использованием технологий HTML, CSS и JavaScript.

В рамках рассматриваемых технических квалификаций применяются современные интерактивные методы обучения, среди таких методов можно выделить: *Метод проблемного обучения* ориентирован на поиск решений нестандартных задач, требующих самостоятельного анализа и выбора оптимального решения [4]. Например, задание по данной специальности включает оптимизацию алгоритма сортировки в программе, который должен эффективно работать с большими объемами данных. Обучающиеся проводят сравнительный анализ различных алгоритмов сортировки, выбирают самый приемлемый с точки зрения производительности, реализуют его в коде. В этом процессе обучающиеся развивают навыки анализа, а также учатся критически подходить к выбору методов и инструментов для решения практических задач.

Метод проектного обучения предполагает выполнение обучающимися практических проектов, в ходе которых применяются

теоретические знания для решения реальных задач. Одним из эффективных заданий является разработка веб-приложения. В процессе данной работы обучающимся предстоит спроектировать базу данных для хранения информации, реализовать интерфейс для добавления и редактирования данных, а также обеспечить возможность генерации отчетов. Работа над таким проектом предоставляет обучающимся возможность не только применять теоретические знания на практике, но и развивать навыки командной работы, творческого подхода к решению задач, а также освоения современных технологий разработки.

Кейс-метод основан на изучении реальных или смоделированных ситуаций, с которыми сталкиваются обучающиеся в области разработки программного обеспечения. Например, обучающиеся могут проанализировать проект по созданию системы управления библиотекой, выявить возможные проблемы в архитектуре системы и предложить способы их оптимизации. Развивает творчество и креативность.

Применение *метода тестирования программного обеспечения* играет ключевую роль в обеспечении качества продуктов. В рамках курса обучающиеся учатся как ручному, так и автоматизированному тестированию. Автоматизация тестирования, в том числе с использованием фреймворков, таких как Selenium, JUnit и PyTest, предоставляет обучающимся возможность повысить производительность и точность тестов, а также ускорить процесс разработки [5]. Также важным элементом является тестирование на безопасность, включающее выявление уязвимостей и предотвращение возможных атак на программные продукты, что особенно актуально в условиях современных угроз безопасности.

Метод исследовательского обучения помогает обучающимся развивать самостоятельность, навыки анализа, творческого подхода. Задание включает исследование различных методов сжатия данных и их сравнение по эффективности при обработке больших объемов информации. Обучающиеся проводят анализ существующих решений, предлагают свои варианты и тестируют их. Это развивает способности к самостоятельному поиску решений, нестандартному, а также применению теоретических знания на практике.

Применяя *метод анализа и проектирования* на основе UML, предполагается использование стандартов для моделирования архитектуры программных систем. Указанный примененный метод развивает у обучающихся логическое мышление, а также способность визуализировать системы, творчески подходить, что важно при проектировании сложных программных продуктов. Также в рамках дисциплины активно применяется этот *метод для разработки программного обеспечения, такие как Agile и Scrum*. Данные методы предполагают гибкость в подходе к разработке, разделение процесса на небольшие итерации, что позволяет постоянно отслеживать и корректировать ход выполнения проекта.

Каждый спринт (короткий цикл разработки) завершается демонстрацией работы над проектом, что позволяет оперативно выявлять проблемы и вносить изменения. Важной составляющей таких методов является использование *регулярных встреч (daily stand-ups)*, в котором каждый участник *команды* делится своим прогрессом, планами и возможными препятствиями, что способствует поддержанию высокого уровня взаимодействия и информированности внутри команды.

Выводы: Среди перечисленных применяемых интерактивных методов обучения, использовались и другие подходы, такой как профессионального коучинга «WSK». В комплексе интерактивные методы позволяют разнообразить образовательный процесс, развивают творческие способности, повышают мотивацию к обучению и эффективность процесса в целом. Анализ результатов эксперимента показывает, что внедрение интерактивных методов положительно сказалось на успеваемости, вовлеченности обучающихся и их профессиональных навыках.

Список литературы

1. Левицкая И.А. Формирование цифровых компетенций студентов профессионального образования. XII международная научно-практическая конференция «Современные тенденции и инновации в науке и производстве» 26 апреля 2023.
2. Егоров В.В., Ударцева С.М., Ерахтина И.И. Интерактивные методы обучения в инженерном образовании. – Алматы: Білім, 2009. – 165 с.
3. Abdukadirova Shakhnoza Gafurovna, & Akhrarova Nigora Sabirovna. (2022). Use of interactive teaching methods in the formation of students' creative abilities. Galaxy International Interdisciplinary Research Journal, 10 (11), 233–237. Retrieved from <https://giirj.com/index.php/giirj/article/view/4106>
4. Клещенко Д.А. Проблемно-ориентированное обучение как фактор успешности реализации концепции «образование через всю жизнь» Вестник науки: №6 (51) том 2. С. 23 - 27. 2022 г.
5. Буравов А.А., Дузбаев Н.Т. Использование контейнеризации для автоматизированного тестирования программного обеспечения в онлайн-образовании// Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2022. 5(98).

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!
Чтоб в любых забоях сложных
Эффективность не терять,
Нужно там, где только можно,
Беспилотники внедрять.***

Доц. Павел Жиганов

УДК 622.23.05; 622.248.381; 303.717

К РАСЧЕТУ НАГРУЖЕННОСТИ РОБОТИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ С НЕЙРОСЕТЕВЫМ СОПРОВОЖДЕНИЕМ

Бейсембаев К.М.

Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Р. Казахстан

Обоснованы особенности нагружения движущегося роботизированного забоя, оно сопровождается образованием сети трещин поперек и вдоль его ширины. Анализом данных системы управления рекомендована камерная выемка при ширине камеры до 20 м, с разворотами забоя. Так достигаются показатели дисперсии системы, обеспечивающие прогнозирование параметров его состояния в периодах подвигания в 7-10 м. Программа управления имеет текстовый код, а файлы загрузки независимы от приложений и адаптируемы к новым условиям работ экземплярами нейросети. Их структура в забойных компьютерах, упрощена, и система обратной связи функционирует без распределенных вычислений.

Ключевые слова: трещины, забой, управление, развороты, робот, сеть.

TO THE CALCULATION OF THE LOADING OF ROBOTIZED SUPPORT WITH NEURAL NETWORK SUPPORT

Beisembaev K.M.

The specific loading characteristics of the moving robotic mining face are justified; it is accompanied by the formation of a network of cracks across and along its width. Based on the analysis of data from the control system, chamber mining with a chamber width of up to 20 meters and face rotations is recommended. This achieves system dispersion indicators that ensure the prediction of its state parameters during advance steps of 7-10 meters. The control program has a text code, and file loading is independent of applications and adaptable to new working conditions through instances of the neural network. Their structure in face computers is simplified, and the feedback system operates without distributed computing

Keywords: cracks, face, control, maneuvering, robot, network

Расчеты горного давления выполняются, на базе теории упругости и пластичности, корректируются шахтными данными. Они могут быть получены системами управления ф. Марсо в забоях, где ведется непрерывный мониторинг. Такие расчеты, и методология конечных элементов, позволяют осуществить режим управления лавой в режиме обратной связи [1, 2], где параметры забоя, полученные после заданного подвигания лавы, служат для уточнения модели. Так система [3] позволяет предотвращать динамические явления на забой лавы. Успешность систем с роботизированной крепью приведён в [4]. Известно: чем целостнее горный массив, тем меньше по показаниям датчиков дисперсия его состояния, тем точнее прогнозируемые данные. Для таких систем важны закономерности процессов разрушения – трещинообразования, протекающих в породах у забоя. Как показывает теоретический анализ, этот длительный, равномерный процесс имеет периодические всплески нагрузки, прерываемые происходящими внезапно, и с большими амплитудами [5]. На рис.1 этапы движения забоя. Непрерывные этапы **а**, **б** в теоретическом плане представлены Векслером в КПТИ и ф.Марсо, а этап **в** работе [5] и др. Разрушение активизируется уже при проходке монтажной камеры - МК (а). Будущая лава в поперечном направлении может разбиваться трещинами (рис. 2а). При ра-

боте проходческого комбайна в МК, её пролет увеличивается, опускания и напряжения в кровле растут.

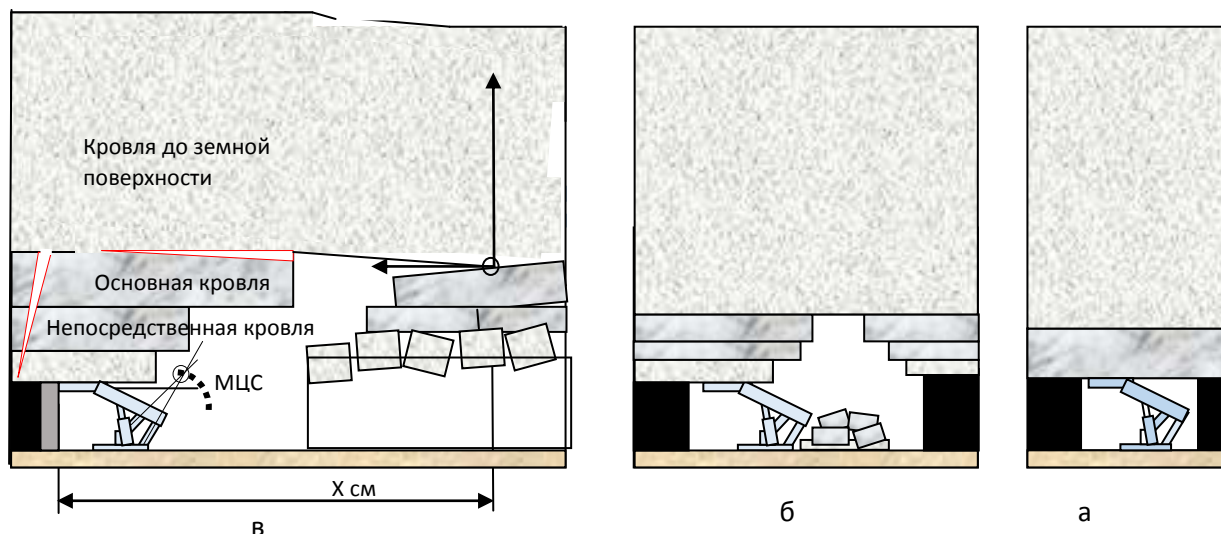


Рис. 1 Схема сдвижения пород: а) монтажная камера, б) первичное обрушение, в) установившийся режим консольного обрушения с плавным опусканием слоев пород до земной поверхности, или с продолжением формирования ступеней (штриховые линии)

На рисунке, они еще не достигли значений, вызывающих обрушения. Но в соответствии с термодинамикой, кровля должна разделиться на участки вдоль лавы и дать зародышевые трещины поперек будущей лавы. Их можно объяснить и с позиции механики твердых тел. Породный слой содержит микротрещины, и они при увеличении пролета за счет концентрации напряжений растут без обрушения кровли, так как их параметры еще не критические. Для условий Карагандинского бассейна при проходке МК на длину ~50 м достигается предельный пролет. И трещины в середине пролета типа 2, приближаясь к разрушающим уже определяют их магистральные направления в будущей лаве. Левый пролет будет иметь увеличенную систему трещин, так как время выстоя этой части кровли больше и растягивающие напряжения вдоль свободного контура, приводят к росту трещин быстрее, чем справа, за счет беспрепятственного развития процессов ползучести. Это приведет и резкому росту давлений у кромок пласта слева и справа, и образованию трещин типа 1. Так напряжения при проходке МК создают факторы наследования в будущих обрушениях, что согласуется с принципами двойникования, отмеченных в металлах [6]. И они могут быть забыты массивом в случаях: бифуркаций, резкого изменение формы деформации слоев, или при встрече нарушения. Из анализа состояние толстой плиты, зависшей над выработанным пространством с шириной L (длина лавы) и длиной равной подвиганию X , следует, что концентрации напряжений, растягивающих нижний контур плиты возникнут по взаимно пересекающимся направлениям от центра плиты к линии лавы и её бортам. В условиях микротрещин они образуют сетку ячеек, намеченных двойниками, которые подпитываются энергией упругой деформации пород.

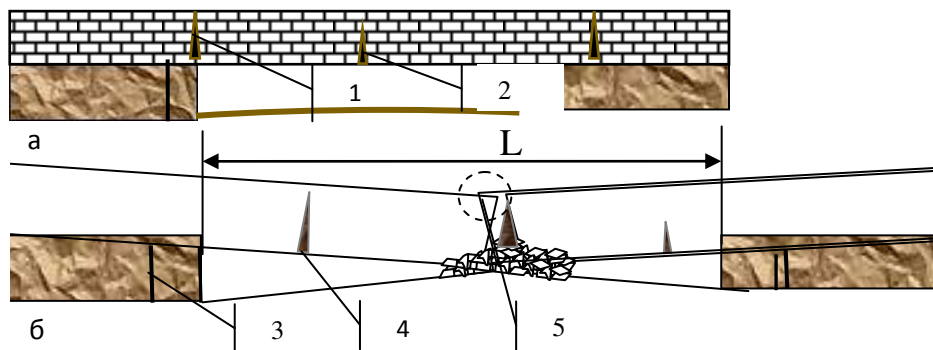


Рис. 2 Образование поперечных разломов, начиная от монтажной камеры: а) проходка камеры (1 – зародышевые трещины при предельном пролете (у пласта), и в середине 2; б) разделение пород при движении лавы при обрушении; 3- трещина в пласте; 4 – вторичная трещина; 5- зона обрушения и сжатия пролётов у центра; L - длина лавы.

Возможна и упрощенная интерпретация этих процессов, когда после разрушения или смещения пород вдоль средних линий, их поверхности облома будут взаимно прижаты, что замедлит смещение, и активизирует развитие трещин в других зонах (рис. 2б). Поэтому при моделировании нагруженности забоя, секции рассматривают в пределах отдельных его участков, протяженностью ~20 м на которые воздействует массив пород, сложенный по схемам на рис 1а (программа может учитывать и другую структуру). Наше приложение Геомеханика создается на основе пакетов, выдающих текстовый программный код, с верификацией в ИИ и переводом на нужные языки. ИИ получает указания и о группе операторов, которые следует применять, что упрощает контроль, и обеспечивает комфортный обмен данными. Так упрощается и выдача для ИИ заданий по совершенствованию моделей, создаются условия создания файлов загрузки, не зависящих от основного приложения. В частности, в качестве ИИ служит GPT chat. Нагруженность группы секций от участка к участку резко изменяется, а состояние пород на стыках разнообразно и неопределенно, что требует индивидуального учета граничных условий групп. Поэтому, для настройки системы в режим обратной связи были рассмотрены возможности параллелизации задач, для ПК с оперативной памятью до 8 Gb [5]. Детальный же анализ условий разработки показывает, что благоприятные условия залегания минералов исчерпываются и альтернативой становится камерная технология. В США с этими целями создан поворотный ленточный конвейер. В Карту же применили высоконесущие секционные роботы и анкерную крепь, с маневрированием забоя и безмонтажным переходом с участка на участок. Использование пневмогидравлических молотов для разрушения твердых пород позволяет универсализировать технологию, включая и выемку крутых пластов. Камера и развороты на порядки уменьшили данные управления роботами, оптимизировали нейросеть, за счет упрощения слоев нейронов для идентификации изменения свойств и структуры массива, при движении забоя, и методов их многомерной обработки, позволив внедрение авторских программ. В этом случае работа с

визуальной информацией существенно упрощена, и для идентификации используются текстовые и числовые данные, сети многомерных классификаций. Отпадает и необходимость распараллеливания процессов, поскольку использование решений, с усложняющимися критериями типа Хука – Брауна для упругопластических решений не оправдано для быстро выражающихся сред. Их нестационарности резко ограничивает прогнозирование и более точные данные получаются для простых моделей, действующих в пределах 7 – 10 м подвигания забоя, с последующим обновлением. В пакетах узлов сети используют разделение и перенос данных так, чтобы решение, применяемое в каждом из них, было предельно простым. Это в отличие от [6] позволяет использовать меньшие объемы памяти упростить понятийную сторону задачи.

Список литературы

1. Ройтер М., Крах М., Кислинг У., Векслер Ю.А. Разработка метода сейсмоакустического мониторинга динамических явлений в очистных забоях угольных шахт. ФТПРПИ.- 2021. - № 1. С. 28-35. DOI: 10.15372/FTPRPI20210104
2. Бейсембаев К.М., Малыбаев Н.С., Тутанов С.К., Шманов М.Н. Разработка модели лавы для системы управления механизированной крепью с обратной связью //Горный журнал, № 8, 2019, с.38-42
3. Калинин С.И., Роут Г.Н., Игнатов Ю.М., Черданцев А.М. Обоснование суточной добычи угля из лавы длиной 400 метров в условиях шахты им. В.Д. Ялевского.// Вестник Кузбасского государственного технического университета.- 2018. -№ 5. С. 27-34. DOI:10/26730/1999-4125-2018-5-27-34
4. Бейсембаев К.М., Векслер Ю. А., Жетесов С. С., Каппасов Н., Мендикенов К. К. Исследование состояния горного массива при подвигании лавы // Известия высших учебных заведений Горный журнал.- 2013.- №3.- С. 69-76
5. Александров А.Я., Краснов Л.А., Кушнеров В.А. Исследование деформаций в микрообластях поликристаллов при помощи фотоупругих покрытий // ПМТФ,-1967.- № 36. С. 76 – 82
6. Михаил Плыкин. Паралельные вычисления в Ansys. URL: <https://www.ansysadvantage.ru/parallel-estimates-in-ansys>. (Дата обращения 23/02/2025)

УДК 622.271

КОНТРОЛЬ ОСАДКИ ГРУНТА ПОД ЭКСКАВАТОРОМ

Бугебрин Ш. аспирант, Казаков Ю.А., ассистент, канд. техн. наук
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
г. Санкт-Петербург, Россия

В статье рассматривается задача осадки грунта под ходовой частью экскаватора как одного из ключевых факторов, влияющих на производительность и безопасность функционирования. Осадка напрямую зависит от типа грунта, нагрузки на ходовую часть и условий эксплуатации. Предложена концепция использования сенсоров, интегрированных в конструкцию подвески экскаватора, для мониторинга глубины осадки в реальном времени. Система позволяет оператору получать данные о текущем состоянии, для предотвращения застревания и снижения рисков возникновения аварийных ситуаций. Анализ показывает, что внедрение такой системы может повысить производительность на 10–15%, снизить вероятность аварий на 20–30% и обеспечить экономию затрат на топливо. Несмотря на необходимость первоначальных инвестиций, долгосрочная эффективность делает данное решение экономически оправданным.

Ключевые слова: грунт, влажность, экскаватор, ходовая часть, осадка, сенсоры, мониторинг, производительность, безопасность

GROUND SETTLEMENT CONTROL UNDER EXCAVATOR

Bouguebrine C., Kazakov Y.A

This article examines the issue of excavator draft as one of the key factors affecting the productivity and safety of equipment operation. The draft directly depends on soil type, load on the undercarriage, and operating conditions. The study proposes the concept of using sensors integrated into the excavator's suspension system to monitor draft depth in real time. The system allows the operator to receive data on the current level of penetration, which helps optimize machine parameters, prevent getting stuck, and reduce the risk of accidents. Theoretical analysis shows that implementing such a system can increase productivity by 10–15%, reduce the likelihood of accidents by 20–30%, and provide savings on fuel and maintenance. Despite the need for initial investment, long-term efficiency makes this solution economically justified.

Keywords: excavator, draft, productivity, sensors, undercarriage, soil, moisture, safety, monitoring, technologies.

В горнодобывающей промышленности производительность экскаваторов является ключевым фактором, определяющим эффективность всего процесса добычи. Однако внешние факторы, такие как погодные условия, могут существенно влиять на функционирование машин. В частности, атмосферные осадки играют важную роль в изменении прочностных характеристик грунта, что напрямую сказывается на производительности экскаваторов [1]. Как отмечают исследователи в области инженерной механики, «изменение влажности грунта под воздействием атмосферных осадков может привести к увеличению его плотности и ухудшению условий для работы землеройной техники» [2].

Атмосферные осадки влияют на производительность экскаваторов при работе с уступа карьера на грунтах со слабой несущей способностью. Прежде всего, это изменение физико-механических свойств грунта, таких как плотность и угол внутреннего трения. Несущая способность грунта снижается, что приводит к застреванию техники за счет оседания ходовой

части в грунт. Кроме того, накопление жидкости в рабочей зоне может вызывать дополнительное сопротивление движению гусениц или колес, что снижает маневренность техники. Исследования показывают, что даже небольшое увеличение содержания жидкости в грунте может привести к снижению производительности экскаватора на 15–20 % [3]. Учет влияния атмосферных осадков становится неотъемлемой частью планирования добычных работ в условиях переменчивых погодных условий [4].

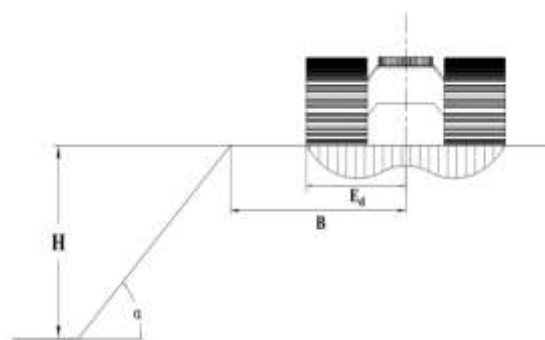


Рис. 1. Распределение нагрузки экскаватора на уступе карьера при добыче нерудных материалов [5]: H – высота уступа, B – расстояние от гребня уступа до центра экскаватора, E_d – гусеницы экскаватора на половину расстояния.

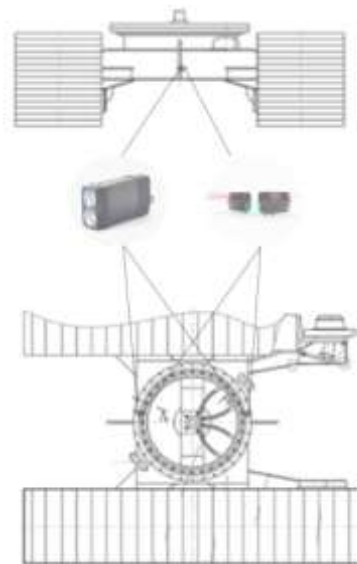


Рис. 2. Ходовая часть экскаватора с размещением датчиков

Для минимизации негативного влияния атмосферных осадков на производительность экскаваторов применяются различные методы и технологии. Современные системы управления экскаваторами позволяют автоматически корректировать параметры рабочего цикла в зависимости от текущих условий для компенсации изменений характеристик грунта [6]. Некоторые исследования также предлагают внедрение систем прогнозирования погоды в реальном времени для оптимизации графиков работ [7].

Предложена концепция использования сенсоров (рисунок 2), установленных на ходовой части (подвеске) экскаватора, для контроля и мониторинга глубины осадки ходовой части в грунт со слабой несущей способностью. Датчики давления, ускорения и наклона могут быть размещены на конструкции подвески для сбора данных о вертикальном перемещении гусениц машины относительно поверхности грунта. Эти данные затем обрабатываются программным обеспечением для предоставления оператору информации о текущем уровне осадки машины в грунт, а также для выявления потенциально опасных ситуаций, например, застревания [8].

Для анализа эффективности такого подхода был проведен анализ возможного влияния системы мониторинга на производительность и безопасность работы экскаватора. Учитывались различные типы грунтов (песчаный, суглинистый, болотистый) и условия влажности грунта (сухие, после осадков). Проанализированы существующие научные работы и технические решения, связанные с применением сенсорных технологий в горнодобывающей и строительной технике [9]. На основе этого была разработана модель, демонстрирующая ожидаемые преимущества внедрения системы мониторинга осадки грунта под ходовой частью машин [10].

Анализ показывает, что использование сенсоров для мониторинга осадки экскаватора может повысить производительность на 10–15% за счет рационального функционирования на разных типах грунта, а также снизить риск возникновения аварий на 20–30%, благодаря предупреждению о критических уровнях осадки [11]. Экономия на топливе составит до 8–10%. Основным вопросом остается принцип расположения датчиков, и разработка алгоритмов программной обработки данных, что требует дополнительных исследований. Тем не менее, организация текущего контроля осадки гусеничного/колесного хода в грунт имеет большой потенциал для повышения эффективности и безопасности работы экскаватора.

Список литературы

1. Zhang Z., Zhang Y., Liu S. The Impact of Soil Moisture on Excavator Productivity in Mining Operations // *International Journal of Geosciences*. 2017. Т. 8, №6. С. 1135–1145.
2. El-Rayes K., Moselhi O. Impact of Rainfall on the Productivity of Highway Construction // *Journal of Construction Engineering and Management*. 2001. Т. 127, №5. С. 429–437.
3. Parsakho L. I., Brik M. S., Frolov E. N. Effect of soil properties on productivity of hydraulic excavators // *Agricultural Engineering*. 2008. №5. С. 24–28.
4. Penn State Extension. Creating an infiltration surface [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://extension.psu.edu/creating-an-infiltration-surface> (Дата обращения: 02.03.2025).
5. Mikhailov A. V., Bouguebrine C., Shibanov D. A., Bessonov A. E. Impact Evaluation of Excavator Positioning on Open Pit Slope Stability // *International Journal of Engineering*. 2025. Т. 38, №1. С. 99–107. DOI: 10.5829/ije.2025.38.01a.10.
6. Liu Y., Gao Z., Wang Y., Zhang L., Yang X. Land Subsidence Monitoring and Building Risk Assessment Using InSAR Technology in Lanzhou, China // *Remote Sensing*. 2023. Т. 15, №11. С. 2851. DOI: 10.3390/rs15112851.
7. Tan W., Xu D. Assessing the Productivity and Environmental Impacts of Earthwork Machines: A Case Study for GPS-Instrumented Excavators // *Journal of Construction Engineering and Management*. 2019. Т. 145, №5. С. 04019025. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001647.
8. Liu C., Zhang L. Estimation of Excavator Actual Productivity at Construction Sites Using Video Analysis // *Automation in Construction*. 2021. Т. 124. С. 103539. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.103539.
9. Zhang J., Li S., Liu H. High-Precision Monitoring and Prediction of Mining Area Surface Subsidence Using SBAS-InSAR and Deep Learning Models // *Scientific Reports*. 2024. Т. 14, №1. С. 45678. DOI: 10.1038/s41598-024-80446-7.
10. Chen H., Wang Y., Liu Z. Research on Prevention and Control Methods of Land Subsidence Induced by Groundwater Exploitation // *Frontiers in Earth Science*. 2022. Т. 10. С. 1010134. DOI: 10.3389/feart.2022.1010134.
11. Kim K.-W., Kim Y.-S., Cho H.-Y. Proximity Warning and Excavator Control System for Prevention of Collision Accidents // *Sustainability*. 2017. Т. 9, №8. С. 1488. DOI: 10.3390/su9081488.

УДК 622.1

ОДИН ИЗ ПОДХОДОВ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ РЕСУРСА ОСНОВНЫХ УЗЛОВ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

Ситдикова С. В.¹ ст. преподаватель, Великанов В. С.^{1,2}, проф. д.т.н.,
Манолий К.С.³ магистр

¹«Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург

²«УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург

³«Уральский государственный аграрный университет», г. Екатеринбург

Развитие горных работ на ближайшую перспективу определяется добычей сырьевых ресурсов открытым способом. Значительная часть карьеров, находящихся в эксплуатации на территории Российской Федерации, осуществляют доработку месторождения открытым способом или близки к данному этапу. Высокая интенсивность ведения горных работ и ухудшение горно-геологических, горнотехнических, экологических и экономических условий разработки месторождений определяют необходимость в модернизации стратегии развития горнотехнических систем. Это возможно достичь путем изменения не только параметров открытой геотехнологии и переходом на комбинированный способ, но и реализацию современных подходов в разработке и широком внедрении на горных предприятиях России современных высокотехнологичных горных машин. Данное обстоятельство обеспечивает повышение эффективности управления и надежности работы сложных машин и оборудования с повышением безопасности ведения горных работ, а также уменьшения влияния человеческого фактора с перспективой реализации полностью безлюдных технологий.

Ключевые слова: карьер, добыча, карьерный экскаватор, производительность, крупность, надежность, отказ

FORECASTING THE LIFETIME OF THE MAIN UNITS OF SHOVEL

Sitdikova S.V., Velikanov V.S., Manoliy K.S.

The global trend in the development of mining operations in the near future is determined by the extraction of raw materials by open-pit mining. A significant part of the quarries operating in the territory of the Russian Federation are developing deposits by open-pit mining or are close to this stage. High intensity of mining operations and deterioration of mining-geological, mining-technical, ecological and economic conditions for the development of deposits determine the need to modernize the strategy for the development of mining engineering systems. This can be achieved by changing not only the parameters of open-pit geotechnology and switching to a combined method, but also by implementing modern approaches to the development and widespread introduction of modern high-tech mining machines at mining enterprises in Russia. This circumstance ensures increased management efficiency and reliability of complex machines and equipment with increased safety of mining operations, as well as a reduction in the influence of the human factor with the prospect of implementing completely unmanned technologies.

Keywords: quarry, mining, shovel, productivity, size, reliability, failure

Введение

Карьерный экскаватор основное технологическое оборудование, реализующее функции выемки и погрузки горной массы в зависимости от физико-механических свойств горных пород. На современном этапе развития открытых горных работ наибольшее распространение в основном получили карьерные гусеничные экскаваторы (ЭКГ) и экскаваторы гидравлические (ЭГ). В научно-технической литературе [1-5] достаточно подробно представлены и описаны конструктивные схемы и область применения того или иного типа машины. Статистика по вынужденным остановкам карьерных экскаваторов составляет порядка 20–30 % их фонда рабочего време-

ни, простои обусловлены необходимостью замены физически изношенных деталей. Коэффициент использования экскавационного оборудования в среднем на открытых горных работах составляет 0,7–0,8 % [1–4].

Предиктивная аналитика – это инструмент для анализа статистически значимых и объективных данных, который помогает строить точные прогнозы для принятия решений. Как отмечается в ряде аналитических отчетов, предиктивная аналитика для получения прогноза использует данные о характеристиках оборудования, его использовании, внешних воздействиях, состоянии среды функционирования [6, 7, 8]. Так, в отчете компании McKinsey отмечается, что на производстве использование инструментов предиктивной аналитики уменьшает простои технологических машин до 50 % и увеличивает срок эксплуатации на 40 %. Вместе с тем, в экспертном заключении Zion Market Research указывается, что рынок предиктивной аналитики к 2022 достиг 10,9 млрд долл. при темпе роста в год 21 % (GAGR) [8, 9].

Во введении статьи было показано, что перспективным направлением в прогнозировании отказов электромеханического оборудования карьерного экскаватора являются методы на основе предиктивной аналитики. Одним из подходов в реализации методов предиктивной аналитики является анализ дерева отказов. Дерево отказов (FTA-Fault Tree Analysis) - аварий, происшествий, последствий, нежелательных событий лежит в основе логико-вероятностной модели причинно-следственных связей отказов системы с отказами ее элементов и другими событиями (воздействиями), представляет собой многоуровневую графологическую структуру причинных взаимосвязей, полученных в результате прослеживания опасных ситуаций в обратном порядке для того, чтобы отыскать возможные причины их возникновения [6, 7].

Методология исследований деревьев отказов. Метод основан на графическом логическом описании механизма отказов системы. Ключевые теоретические основы метода – это предположение, что компоненты в системе либо работают успешно, либо отказывают полностью. До начала построения дерева отказов необходимо специально определить верхнее событие. Необходимо детальное понимание работы систем ее компонентов, роли операторов и возможных человеческих ошибок. Далее события описываются на более низком уровне путем отдельного анализа каждой возможной причины. События связываются логическими символами «и» или «или». Для графического изображения простейшего дерева событий существует базовый набор символических изображений, которые представлены в таблице.

Разработка структуры дерева отказов ЭКГ характеризуется составлением графологической схемы, включающей два типа элементов: событие и логический символ. Верхний уровень дерева отказов описывает анализируемый отказ экскаватора, нижний указывает на возможные причины возникновения отказа. Для реализации структуры дерева отказов ЭКГ нами

исследована возможность использования программных комплексов (ПК) по расчету надежности сложных технических систем. Наиболее распространенными среди зарубежных ПК являются: RELEX (Relex software Corporation, США); A.L.D.Group (Израиль); Risk Spectrum (Relcon AB, Швеция); ISOGRAPH (Великобритания).

Табл. Значение логических символов дерева отказов [8]

Символ логического знака	Название логического знака	Причинная взаимосвязь	Символ логического знака	Название логического знака	Причинная взаимосвязь
	И	Выходное событие происходит, если все входные события случаются одновременно		Запрет	Наличие входа вызывает наличие выхода тогда, когда происходит условное событие
	ИЛИ	Выходное событие происходит, если случается любое из входных событий		Приоритетное И	Выходное событие случается, если все входные события происходят в нужном порядке слева направо
	Исключающее ИЛИ	Выходное событие случается, если случается одно (но только одно) из входных событий		"m из n" (голосования или выборки)	Выходное событие случается, если случается m из n входных событий

Среди отечественных ПК, которые применяются на ряде предприятий: ПК АСОНИКА-К (МИЭМ-ASKsoft); ПК АСМ (ПК для автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета надежности и безопасности систем, ОАО «СПИК СЗМА»); ПК «Универсал» (для расчетов надежности и функциональной безопасности технических устройств и систем, ФГУП «ВНИИ УП МПС РФ»); ИМК КОК (инструментально моделирующий комплекс для оценки качества функционирования информационных систем, ФГУП «3 ЦНИИ МО РФ») и др. [9-12]. В силу того, что все представленные ПК распространяются по платной подписке, нами в

качестве инструмента разработки использовано программное обеспечение, находящееся в свободном доступе – Creately (рис. 1).



Рис. 1. Интерфейс Creately для построения дерева отказов ЭКГ

Современные карьерные экскаваторы, применяемые на открытых горных работах, представляют собой высокопроизводительные крупногабаритные электромеханические системы. Целесообразно при установлении категории отказа, с позиций системного анализа, электромеханическое оборудование карьерного экскаватора рассматривать как систему, состоящую из двух подсистем: механической и электрической.

В результате построения дерева отказов экскаватора выявлены основные комбинации отказов электрической и механической подсистем экскаватора, ошибки персонала и внешних воздействий, приводящие к основному событию, а именно потери работоспособности карьерного экскаватора.

Список литературы

1. Саадун А., Фредж М., Букарм Р., Хаджи Р. Анализ дробления с использованием цифровой обработки изображений и эмпирической модели (Kuz-Ram): сравнительное исследование // Записки Горного института. 2022. Т. 257. С. 822–832.
2. Маринин М. А., Рахманов Р. А., Аленичев И. А., Афанасьев П.И., Сушкова В.И. Изучение влияния гранулометрического состава взорванной горной массы на производительность экскаватора WK-35 // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2023. №6. С. 111–125.
3. <https://www.vnedra.ru/tehnologii/optimizacziya-fragmentaczii-vzorvannoj-gornoj-massy-8638/>
4. Дремин А. В., Великанов В. С. Постановка многокритериальной задачи анализа и прогнозирования гранулометрического состава взорванных горных пород // Горная промышленность. 2023. № 5. С. 52–60.
5. Великанов В. С. Использование нечеткой логики и теории нечетких множеств для управления эргономическими показателями качества карьерных экскаваторов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. № 9. С.57-62

6. Шибанов Д. А., Шишлянников Д.И., Иванова П. В., Иванов С. Л. Комплексная оценка факторов, определяющих наработку экскаваторов ЭКГ новой продуктовой линейки производства ИЗ-КАРТЭКС // Горное оборудование и электромеханика, 2015. - № 9. - С. 3–9.

7. Шибанов Д. А., Иванов С. Л., Звонарев И. Е. Влияние факторов эксплуатации карьерных экскаваторов на их техническое состояние // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: сборник научных трудов 9-й Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. Т. 1. - Минск: БНТУ, 2013. - С. 430–433.

8. <https://www.itexpert.ru/rus/biblio/detail.php?ID=16266> .

9. Строгонов А., Жаднов В., Полесский С. Обзор программных комплексов по расчету надежности сложных технических систем // Компоненты и технологии, 2007. - №70. – С. 183-190.

10. ПК АРБИТР: О программном комплексе [Электронный ресурс] – URL: <https://szma.com/arbitr/> (дата обращения – 19.11.2024 г.).

11. АСОНИКА-К [Электронный ресурс] – URL: <https://asonika-k.ru/> (дата обращения – 18.12.2024 г.).

12. Жаднов В. В., Жаднов И. В., Замараев С. П., Смирнов Н., Полесский С. Н., Пращинский С. А., Фридер А. Ю. Новые возможности программного комплекса АСОНИКА-К. М., 2017. – С. 52–55.

УДК 622.23

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ ПРИВОДОВ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

Волобуева П.С.¹, аспирант, Лагунова Ю.А.^{1,2}, проф., д.т.н.

¹ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

²Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

Одним из ключевых элементов конструкции карьерных экскаваторов является привод, определяющий эффективность, надежность и экономичность работы всего оборудования. В данной статье рассмотрены основные типы приводов экскаваторов, их достоинства и недостатки, приведены примеры отечественных и зарубежных моделей.

Ключевые слова: механический привод, гидравлический привод, электрический привод, гибридный привод.

REVIEW OF EXISTING DRIVES FOR MINING EXCAVATORS

Volobueva P.S., Lagunova Yu.A.

One of the key components in the design of quarry excavators is the drive system, which determines the efficiency, reliability, and cost-effectiveness of the entire equipment. This article examines the main types of excavator drive systems, their advantages and disadvantages, and provides examples of domestic and foreign models.

Keywords: mechanical drive, hydraulic drive, electric drive, hybrid drive.

Одним из ключевых элементов конструкции карьерных экскаваторов является привод, определяющий эффективность, надежность и экономичность работы всего оборудования. Можно выделить несколько основных

типов приводов: паровой (ДВС), электрический, гидравлический, гибридный.

Паровой привод – один из самых старых типов приводов, которым экскаваторы оснащались в начале своего существования. Первый экскаватор, оборудованный паровым двигателем и колесно-рельсовым ходом, изобрел американец Уильям Смит Отис [1]. В таком приводе энергия от паровой машины передается через механические передачи (шестерни, валы, редукторы). Эти системы устарели по сравнению с современными гидравлическими моделями, уступая им в производительности, топливной эффективности и экономичности, что выражается, в частности, в более высоких затратах на обслуживание и эксплуатацию.

Гидравлический привод широко применяется в современных карьерных экскаваторах. В таком приводе энергия рабочей жидкости передается через гидравлические насосы к двигателям – гидромоторам и гидроцилиндрам, где она преобразуется в механическую энергию. Гидравлический привод позволяет значительно упростить кинематику трансмиссии и рабочего оборудования, повысить мобильность и универсальность машин, обеспечить плавность движения и точную ориентацию рабочего органа, реализовать большие усилия копания. Однако их недостатками являются значительные потери энергии в гидравлической системе и сложности в обслуживании при низких температурах [2].

Модели экскаваторов ЧЕТРА и Уралвагонзавода отличаются надежностью, простотой конструкции и доступной стоимостью, что делает их пригодными для тяжелых условий работы [3]. Однако они уступают зарубежным аналогам в производительности, уровне автоматизации и комфорта для оператора.

Таблица 1 - Российские гидравлические строительные экскаваторы на примере ЧЕТРА (Чебоксарский завод промышленных тракторов) и Уралвагонзавод (УВЗ)

<i>ЧЕТРА Т-50</i>	<i>ЭО-5126</i>
Особенности: мощный двигатель, усиленная конструкция. Применение: щебеночные карьеры, разработка твердых пород.	Особенности: компактность, высокая маневренность. Применение: щебеночные карьеры.

Таблица 2 - Зарубежные гидравлические экскаваторы

<i>Caterpillar 6060 (США)</i>	<i>Komatsu PC2000 (Япония)</i>	<i>Liebherr R 9800 (Германия)</i>
Особенности: высокая производительность, надежность. Применение: разработка твердых пород, крупные карьеры.	Особенности: мощный гидравлический привод, высокая производительность. Применение: крупные карьеры, тяжелые горные работы.	Особенности: высокая производительность, современные технологии. Применение: разработка твердых пород, крупные карьеры.

Гидравлические экскаваторы Caterpillar 6060, Komatsu PC2000 и Liebherr R 9800 отличаются высокой производительностью, мощностью и

современными технологиями, что делает их идеальными для разработки твердых пород и работы на крупных карьерах [4]. Они оснащены комфортабельными кабинами, передовыми системами автоматизации и соответствуют строгим экологическим стандартам, что повышает их эффективность и безопасность [5]. Однако имеются и недостатки – высокая стоимость, сложность обслуживания и зависимость от качественных запчастей, что может увеличить эксплуатационные расходы и затруднить использование в удаленных регионах.

Электрический привод экскаватора использует электродвигатели для передачи энергии, что обеспечивает высокую мощность, стабильность работы и низкие эксплуатационные затраты за счет дешевой электроэнергии. Он экологичен, так как не производит вредных выбросов, и надежен благодаря меньшему количеству движущихся частей. Однако такой привод требует подключения к электрической сети, что ограничивает мобильность и делает его непригодным для удаленных районов без доступа к электроэнергии [6].

Таблица 3 - Российские экскаваторы с электрическим приводом

<i>ЭКГ-20, ЭКГ-30, ЭКГ-35(Уралмашзавод)</i>	<i>ЭКГ-10; ЭКГ-8И (ИЗ-КАРТЭКС им. П.Г. Коробкова)</i>
Особенности: одна из самых мощных моделей. Применение: высокая производительность, крупные горные предприятия.	Используется в крупных карьерах. Преимущества: надёжность, экономичность.

Российские производители, такие как Уралмашзавод и ИЗ-КАРТЭКС, активно развивают производство электрических экскаваторов, которые широко используются в горнодобывающей промышленности [7, 8].

Таблица 4 - Зарубежные экскаваторы с электрическим приводом

<i>Komatsu PC5500E</i>	<i>Hitachi EX5600-7</i>	<i>Caterpillar 7495</i>
Особенности: полностью электрический привод; высокая мощность и производительность. Применение: используется в крупных карьерах и на горных разработках.	Особенности: высокая мощность и надежность. Применение: разработка твердых пород, крупные карьеры.	Особенности: один из самых мощных электрических экскаваторов в мире. Применение: крупные карьеры, тяжелые горные работы.

Электрические горные экскаваторы активно используются в крупных карьерах и горных разработках, где их преимущества перевешивают ограничения. С развитием технологий их популярность растет, особенно в условиях ужесточения экологических норм.

Гибридные приводы для карьерных экскаваторов становятся всё более распространенными благодаря своей способности сочетать преимущества дизельных и электрических систем. Они обеспечивают снижение расхода топлива, уменьшение выбросов вредных веществ и повышение эффективности работы.

Дизель-электрический гибридный привод. Дизельный двигатель приводит в действие генератор, который вырабатывает электроэнергию для

электродвигателей, приводящих в движение экскаватор. Преимущества: снижение расхода топлива, высокая эффективность и надёжность.

Таблица 5 – Российские и зарубежные экскаваторы с дизель-электрическим гибридным приводом

<i>ЭКГ-12 с дизель-электрическим приводом (ИЗ-КАРТЭКС им. П.Г. Коробкова)</i>	<i>Komatsu HB365LC-3</i>
Особенности: Дизель-электрический привод, в котором дизельный двигатель приводит в действие генератор, питающий электродвигатели.	Особенности: Гибридный экскаватор с дизель-электрической системой. Экономия топлива до 25 %

Гибридный привод с накопителями энергии

В такой системе используются аккумуляторы или суперконденсаторы для накопления энергии, которая затем используется для питания электродвигателей. Дизельный двигатель работает в оптимальном режиме, заряжая накопители. Преимущества: снижение расхода топлива, возможность рекуперации энергии (например, при опускании стрелы), уменьшение шума и выбросов.

Таблица 6 – Российские и зарубежные экскаваторы с гибридным приводом с накопителями энергии

<i>ЭКГ-18 с гибридной системой (ИЗ-КАРТЭКС им. П.Г. Коробкова)</i>	<i>Hitachi EX5600E-7 Hybrid</i>
Особенности: Гибридный привод с накопителями энергии (аккумуляторы или суперконденсаторы). Энергия рекуперруется при опускании стрелы и торможении. Используется в крупных карьерах для добычи полезных ископаемых.	Особенности: Гибридный привод с накопителями энергии (суперконденсаторы). Энергия рекуперруется при опускании стрелы и торможении. Используется в крупных карьерах и горных разработках.

Гибридный привод с гидравлическим накоплением энергии

В этой системе используется гидравлический аккумулятор, который накапливает энергию при торможении или опускании стрелы, которая затем используется как дополнительная к энергии дизельного двигателя. Преимущества: повышение эффективности работы, снижение расхода топлива, уменьшение нагрузки на дизельный двигатель.

Гибридный привод с комбинированным использованием дизеля и внешнего электроснабжения

Такой экскаватор может работать как от дизельного двигателя, так и от внешнего источника электроэнергии (например, в карьерах с доступом к электрической сети). Преимущества: снижение затрат на топливо при наличии доступа к электроэнергии, уменьшение выбросов при работе от сети.

Таблица 6 – зарубежные экскаваторы с гибридным приводом с комбинированным использованием дизеля и внешнего электроснабжения

<i>Liebherr R 976-E:</i> Гибридный экскаватор с возможностью работы от дизеля или внешнего электро-

снабжения.

Гибридные приводы для карьерных экскаваторов представляют собой перспективное направление развития техники, сочетающее в себе экономичность и высокую эффективность. Они особенно востребованы в условиях, где важно снижение эксплуатационных затрат.

Заключение. Приводы карьерных экскаваторов играют ключевую роль в их эффективности, надежности и экономичности. Гибридные приводы становятся всё более популярными, так как сочетают в себе преимущества дизельных и электрических систем, снижая расход топлива и эксплуатационные затраты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плютов Ю.А. История техники в горном деле / Изд. Дом Грифон. – 2017. 728 с.
2. Ананин В. Г., Эмилов А. Б. Анализ эксплуатационных показателей карьерных гидравлических экскаваторов и экскаваторов с механическим приводом // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2015. – № 4 (51). – С. 212–218.
3. СпецАвто.ру [Электронный ресурс]. – URL: <https://specavto.ru/vidy-tehniki/eksavatory/> (дата обращения: 01.02.2025).
4. Справочник спецтехники и оборудования [Электронный ресурс]. – URL: <https://exkavator.ru/excapedia> (дата обращения: 06.02.2025).
5. Digging control system for hydraulic excavator [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095741580000043X?via%3Dihub> (дата обращения: 28.01.2025).
6. Завьялов В. М. Новый подход к построению систем управления электроприводов карьерных экскаваторов // Горное оборудование и электромеханика. – 2007. – № 8. – С. 10–13.
7. Демченко И. И. Конструкции и эксплуатация экскаваторов ЭКГ-10, ЭКГ-8Ус, ЭКГ-5у: учебное пособие для вузов по спец. «Горные машины и оборудование» напр. подг. «Горное дело» / И. И. Демченко ; Сиб. федерал. ун-т, Ин-т горного дела, геологии и геотехнологий. – Красноярск : СФУ, 2013. – 136 с.
8. Крагель А. А., Обросов С. Я., Сандригайло И. Н. Опыт эксплуатации карьерных экскаваторов ЭКГ-12 в России // Горная промышленность. – 2010. – № 6. – С. 24–26.

УДК 622.232

ФУНКЦИОНАЛЬНО-КОНСТРУКТИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ ВЫБОРА ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ПРОХОДЧЕСКИХ КОМБАЙНОВ

Гаврилова Л.А., доцент, к.т.н., Белов С.В., доцент, к.т.н.

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

Рассмотрены требования к конструкциям исполнительных органов проходческих комбайнов. В качестве объекта исследования выбраны исполнительные органы комбайнов. Определены функциональные и конструктивные признаки для выбора эффективной конструкции комбайнов. Рассмотрена взаимосвязь конструктивных и режимных параметров.

Ключевые слова: проходческий комбайн, исполнительный орган, горная выработка, процесс разрушения, функция, признак, системный подход, классификация.

FUNCTIONAL AND CONSTRUCTIVE TOOLS FOR SELECTING EXECUTIVE BODIES TUNNELING COMBINES

Gavrilova L.A., Belov S.V.

The article discusses the requirements for the design of the executive bodies of tunneling combines. The executive bodies of combine harvesters have been selected as the object of research. Functional and constructive features for choosing an effective combine harvester design have been identified. The interrelation of design and operating parameters is considered.

Keywords: tunneling combine, executive body, mining, destruction process, function, feature, systematic approach, classification.

Развитие комбайнового способа выемки полезного ископаемого является важным направлением развития горной промышленности, которое позволяет решать задачи комплексной механизации и автоматизации основных технологических процессов.

Горный комбайн представляет собой сложную техническую систему, операндом которой является горная порода, преобразуемая из массива в добытое полезное ископаемое и горную выработку. Техническая система служит для выполнения технологического процесса горных работ – проведения горных выработок (ПГВ), который включает в себя разрушение горной породы, погрузку разрушенной породы (горной массы), ее транспортирование, а также поддержание и управление кровлей. Процесс разрушения массива является главным в технологическом цикле выемки пород и проведении горных выработок и осуществляется исполнительным органом (ИО) горной машины. Поэтому от правильного выбора исполнительного органа зависят технико-экономические параметры всего комбайна.

Разнообразие конструкций исполнительных органов приводит к необходимости разработки методики рационального выбора компоновочных схем ИО в конкретных горно-технологических условиях эксплуатации в соответствии с предъявляемыми к ним требованиями.

К основным требованиям относятся:

- обеспечение максимально возможной производительности в конкретных условиях эксплуатации;

- минимальная энергоемкость процесса разрушения при возможно меньшем переизмельчении пород;
- синхронизированная с процессом разрушения погрузка горной массы из призабойного пространства;
- высокий механический КПД;
- надежность и долговечность деталей и узлов при уменьшении динамических нагрузок.

В качестве одного из инструментов разработки методики предлагается применение методологии системного подхода для условий проектирования горного оборудования. В основе системного подхода лежит систематизация существующих объектов того или иного класса машин, представляемая чаще всего в виде классификации.

Классификация технических систем вносит достаточно стройный порядок в их обширное множество и имеет различные определяющие признаки, наиболее значимым из которых является функциональный признак.

Функции горных проходческих комбайнов: создание усилия на забое; разрушение массива пород; управление исполнительным органом; выравнивания почвы выработки; подрезки углов выработки; перемещение для создания усилия подачи на забой; перемещение для маневровых операций; транспортировка породы к месту разгрузки; позиционирование транспортирующего органа под разгрузочное средство; бурение шпуров при движении комбайна (крепление выработки).

Поскольку в качестве вариантов реализации тех или иных функций выступают не конкретные органы или устройства, то этот метод позволяет синтезировать различные технические решения, в том числе и принципиально новые.

Рассмотрение элементов горных машин по функциональному назначению позволяет определить их место в технологическом процессе, выстроить внутренние взаимосвязи между элементами горной машины, как технической системы, а также и внешние взаимосвязи с другими техническими системами (горными и вспомогательными машинами, аппаратурой и др., а также службами обеспечения и контроля работы шахты).

Наряду с традиционно выделяемыми технологическими, кинематическими и конструктивными связями, в настоящее время все более актуальным становится рассмотрение элементов ИО и системы в целом через материальные, энергетические и информационные связи.

Для дальнейших исследований в этой области необходимо определиться с понятиями и определениями.

Параметр процесса ПГВ – это характеристика хода технологического процесса, устанавливающая уровень (режим) энергетического (силового) воздействия на объект. *Показатель ПГВ* – это качественная и количественная характеристика хода и результата технологического процесса ПГВ. Определенное сочетание параметров и факторов, при которых происходит проходка, будем называть *режимом ПГВ*.

При рассмотрении ИО горных комбайнов следует различать режимные и конструктивные параметры. Состав и сочетание механизмов, входящих в состав ИО, определяются конструктивными параметрами горных комбайнов.

Основными режимными параметрами ПГВ являются: усилие подачи и скорость перемещения комбайна по выработке; крутящий момент и число оборотов при забурировании; крутящий момент и число оборотов при разрушении забоя; усилие и скорость продольной и поперечной подачи ИО относительно площади выработки.

Основные показатели ПГВ: производительность; уравнированность комбайна в процессе работы; диапазон изменения внешних нагрузок; энергоемкость разрушения.

Технологический процесс ПГВ выполняется непосредственно конструктивными элементами ИО (узлами, деталями), поэтому между конструктивными и режимными параметрами ИО горных комбайнов существуют взаимосвязи, которые необходимо установить и учитывать при проектировании.

Например, для иллюстрации классификации исполнительных органов проходческих комбайнов может быть приведена следующая классификация избирательных исполнительных органов.

По способу перемещения исполнительных органов комбайнов: в одной плоскости – корончатый, баровый, шнековый, комбинированный и т.п.; в двух плоскостях – кольцевой, лучевой, фрезерный (однобарабанный), двухфрезерный (двухбарабанный), дисковый, комбинированный и т.п.

По принципу действия: роторные: одноосевые, сооснопланшайбовые, параллельноосевые; планетарные: пространственные, плоские.

В такой классификации характерными режимными параметрами являются усилия, моменты, угловые и линейные скорости элементов конструкции.

Предлагаемый подход к созданию методики выбора компоновочных схем ИО при проектировании горных проходческих комбайнов позволит решать вопросы оптимизации параметров и реализации новых конструктивных решений.

Список литературы

1. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества: Учеб. пособие для студентов втузов. - М.: Машиностроение, 1988 г.
2. Суслов Н. М., Комиссаров А. П. Горные машины для подземной разработки полезных ископаемых: учебное пособие / Н. М. Суслов, А. П. Комиссаров; Урал. гос. горный ун-т. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2017. 154 с.

УДК 622.331.06

АНАЛИЗ РАЗРАБОТОК МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СПЛОШНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ

Гамаюнов С.Н., профессор, **Копенкина Л.В.**, доцент
ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», г. Тверь, Россия

В работе рассмотрены опыт создания средства механизации и технологические особенности послойно-поверхностного фрезерования торфяной залежи без предварительного извлечения из нее древесных включений. Продолжение исследований в этом направлении позволит оптимизировать процессы и разработать новые методы работы с торфяными пнистыми залежами, обеспечивая тем самым их эффективное и долговременное использование.

Ключевые слова: фрезерование торфяной залежи, торфяная пнистая залежь, древесные включения, фрезерный барабан.

ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF MACHINERY AND EQUIPMENT FOR CONTINUOUS MILLING OF PEAT DEPOSITS

Gamayunov S.N., Kopenkina L.V.

The paper considers the experience of creating a means of mechanization and technological features of layer-by-layer surface milling of peat deposits without first extracting wood inclusions from it. Continued research in this area will optimize processes and develop new methods of working with peat stumps, thereby ensuring their effective and long-term use.

Keywords: milling of peat deposits, peat stump deposits, wood inclusions, milling drum.

За прошедшее столетие было создано много вариантов устройств и машины по фрезерованию торфяной залежи вместе с пнями, но они не получили широкого распространения из-за конструктивных недоработок, низкого качества измельчения, выброса пней и высокой энергоемкости процесса измельчения. Появление информационных технологий в конструировании и мощных тракторов позволяет вернуться к дальнейшему развитию данного направления на новом уровне.

Идея о фрезеровании торфяной залежи вместе с пнями возникла в период создания техники фрезерного способа производства торфа, но попытки осуществить фрезерование залежи вместе с пнями были неудачными. В 1927–1929 гг. проверялась работа машины, предложенной И.А. Роговым. Ее рабочим механизмом был барабан, состоящий из спирально-винтовой зубчатой ленты. Испытания показали, что рабочий механизм может использоваться для обработки пнистой залежи.

В 1945 году М.И. Сарматов продолжил исследования по сплошному фрезерованию и считал целесообразным создание прицепного устройства к тракторному движителю для фрезерования пнистой залежи тонким слоем, представляющего собой цельный решетчатый пустотелый барабан, на котором закреплены ножи. Ширина захвата фрезы составляет 2,5 м, а диаметр по концам ножей - 336 мм [1-3].

М.К. Сарматов в своей машине предусмотрел ползун, который перемещается по залежи и был закреплен на раме машины перед фрезерным барабаном. Этот ползун служил опорой для барабана и удерживал древесные включения, находящиеся в залежи, предотвращая их захват ножами

фрезы и последующее выбрасывание. После нескольких проходов ножей фрезы древесные включения были полностью измельчены.

В 1946 году сотрудники ВНИИТП исследовали процесс фрезерования торфяной залежи вместе с пнями и разработали фрезерный барабан, оснащенный жесткими режущими элементами в форме конусных штифтов. Фрезерование выполнялось на минимальной скорости трактора 3,78 км/ч при скорости резания 25 м/с. Однако штифты приводили к расщеплению или прочесыванию торцовых пней, оставляя после себя нечто вроде жесткой щетки из сравнительно толстых торчащих волокон древесины. Поэтому данная модель фрезера оказалась неэффективной.

В 1949 году в ВНИИТП была разработана машина ФТМ-1, предназначенная для фрезерования залежи. Ее рабочий орган представлял собой вертикальную фрезу с плоскими ножами, которая была закреплена на раме машины с помощью консольного крепления. В том же году был разработан фрезерный барабан ФДП-3, характеризующийся окружной скоростью фрезы в 13,6 м/с. При использовании этого барабана для фрезерования залежей с пнистостью от 1 до 1,5 % на глубину от 10 до 15 мм на каждом гектаре, происходило удаление 2,5 м³ пней. Он был рекомендован в серийное производство, как временная мера на межцикловой подрезке пней на дренированных полях производства фрезерного торфа.

На предприятия торфяной промышленности в 1952 г. был передан фрезерный барабан ФП-1, предназначенный для полировки поверхности полей. Полировочные барабаны первых моделей ФП-1 и ФП-2 выпускались полунавесными к трактору ДТ-54 с плоскими ножами. Рабочая ширина захвата была 2,8 м. Глубина фрезерования - до 50 мм. Диаметр фрезы - 447 мм. Окружная скорость - 14 м/с. При проведении полевых испытаний ФП-2 было установлено, что при разработке пнистой залежи данный барабан не справлялся со своей задачей, что в большинстве случаев приводило к выбросу пней. В 1957 году на машине ФП-3 установлены тарельчатые ножи, отбойная плита, что улучшило качество обработки слоя торфа. Ширина захвата барабана 2,1 м, глубина фрезерования - 50 мм. Из-за мало-мощного трактора невозможным было измельчение пней в торфяной залежи в тонком слое без их выброса. Фрезерный барабан ФП-4 в сочетании с задним отбойным ножом повышал переработку торфяной залежи по сравнению с предыдущими моделями [4].

Калининский филиал ВНИИТП в 1956 г. приступил к разработке нового способа подготовки и ремонта полей, сущность которого заключается в переработке всего материала на месте методом фрезерования мелко-лесья, кустарника, пней и корневищ на глубину до 0,5 м [5]. Опытная машина МПГ-0 прицеплялась к электрифицированному тягачу. Рабочий аппарат этой машины состоял из двух фрез, представляющих собой полый цилиндр с тарельчатыми ножами.

Далее были созданы прицепные машины глубокого сплошного фрезерования: МПГ-3, МПГ-1,7 и МПГ-1,1, которые в 1961 г. прошли проверку

в различных производственных условиях. В серийное производство была принята машина МПГ-1,7, агрегируемая с трактором С-100БГ мощностью 73,55 кВт [5]. Фреза с чашечными ножами вращалась навстречу поступательному движению машины и выбрасывала крошку через себя, перемещая ее под отбойной плитой.

В 1955 году филиалом ВНИИТП была разработана фреза с плоскими ножами, предназначенная для фрезерования мерзлоты на откосах караванов. В 1956 г. была создана машина МДН-2, предназначенная для щелевого фрезерования мерзлоты на глубину до 0,5 м.

Эти и другие исследования показали, что сплошное фрезерование торфа вместе с древесными включениями является принципиально возможным. Использование электрических двигателей могло обеспечить необходимые условия для резания, измельчения пней до нужной фракции [5].

В Московском торфяном институте в 1951 г. исследования под руководством Г.И. Кужмана и М.И. Сарматова легли в основу создания машины для сплошного фрезерования пнистой залежи на базе многоковшового экскаватора ТЭМП-2 [6]. На экскаватор ТЭМП-2 взамен черпаковой рамы был подвешен фрезерный барабан длиной 4,5 м и диаметром 470 мм, который мог фрезеровать торфяную залежь в слое толщиной до 160 мм. По окружности к барабану были приварены восемь рядов ножей высотой 14 мм. Фреза была ограждена подвижными и неподвижными щитками, которые направляли сфрезерованную массу на транспортер и происходило перетирание массы. Испытания опытного рабочего аппарата проводились в 1954–1955 гг. на Южно-Алферовском торфопредприятии в Московской области. Они подтвердили возможность разработки торфяной залежи с пнистостью до 2,5% путем сплошного фрезерования вместе с пнями [6].

В 1955 г. под руководством Г.И. Кужмана был разработан фрезерный барабан сплошного фрезерования вместе с древесными включениями ПФМ-1 для нового технологического процесса производства кускового торфа [7].

Исследования, проведенные в Московском (впоследствии Калининском) торфяном институте, ВНИИТП и его Калининском филиале подтвердили возможность сплошного фрезерования залежи вместе с пнями. Такой метод разработки перспективен для оптимизации технологического процесса производства торфяной крошки.

Было выполнено несколько диссертаций по исследованию взаимодействия фрез с древесными включениями в залежи, среди которых следует отметить исследования [8, 9].

Возрождение этой технологической операции на новом качественном уровне открывает новые возможности для повышения эффективности использования торфяных ресурсов и требует дальнейшей комплексной оценки [10-11]

Список литературы

1. Сарматов М.И. Фреза для пнистой залежи // Торфяная промышленность. 1948. № 2. С. 8–13.
2. Сарматов М.И. Фреза для пнистой залежи (продолжение) // Торфяная промышленность. 1948. № 3. С. 8–13.
3. Сарматов М.И. Сплошное фрезерование пнистого торфяного массива // Торфяная промышленность. 1948, № 6. С. 16–20.
4. Кудимов Л.П., Кусков Ю.Д., Сафонов К.Е. Механизация подготовки торфяных месторождений для добычи торфа. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962. С. 231-242.
5. Покаместов В.В., Глаголев П.П., Лукьянов А.Д. Подготовка торфяных месторождений глубоким сплошным фрезерованием // Подготовка торфяных залежей глубоким фрезерованием и сушка фрезерного торфа в тонких слоях: сб. статей. Тр. ВНИИТП. Л.: Гостоптехиздат. Ленинградское отделение, 1963. Вып. XXI. С. 3–95.
6. Сарматов М.И., Кужман Г.И. Разработка пнистых залежей путем сплошного фрезерования торфа с древесными включениями // Труды Московского торфяного института, 1956. Вып. 4. С. 39-69.
7. Кужман Г.И. Теоретические основы и процесс получения мелкокускового торфяного топлива для энергогазохимического использования: монография М.-Л.: Госэнергоиздат, 1961. 304 с.
8. Лукьянов А.Д. Экспериментальное исследование фрезерования торфяной залежи с древесными включениями и расчет основных параметров фрез: дис. ... канд. техн. наук: 05.00.00 Калинин, 1964. 171 с.
9. Нажесткин К.П. Исследование процесса фрезерования древесных включений в торфяной залежи: дис. ... канд. техн. наук: 05.00.00 Калинин, 1965. 122 с.
10. Гамаюнов С.Н. Тенденции производства и переработки торфа для нужд сельского хозяйства: монография Тверь: Триада, 2016. 256 с.
11. Гамаюнов С.Н., Б.Ф. Зюзин Рациональная технология малотоннажного производства фрезерного торфа // Сборник научных трудов «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики», 15-я международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. Минск: БНТУ. 2019, Т. 2. С. 24–32.

УДК 622.331:622.22

СОЗДАНИЕ МАШИНЫ ПО ФРЕЗЕРОВАНИЮ ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ ВМЕСТЕ С ПНЯМИ БЕЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ КОРЧЕВКИ

Б.Ф. Зюзин, А.И. Жигульская, С.Н. Гамаюнов

ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь, РФ

Актуальность темы обусловлена тем, что на рынке торфяного оборудования нет комплексов машин по малотоннажному способу производства торфа. Обоснована необходимость в разработке машины для фрезерования торфяной залежи вместе с пнями – погребенными в ней древесными остатками болотной растительности, без предварительной корчевки. Приведены ключевые технические характеристики и особенности работы фрезерного барабана, которые должны обеспечить необходимое качество торфяной продукции. Внедрение новой фрезерующей машины позволит усовершенствовать процесс малотоннажного производства торфа и повысить его экономическую эффективность.

Ключевые слова: торфяные машины, фрезерный барабан, торфяная залежь, торф, погребенная древесина – пни, поверхностно-послойное фрезерование, эффективность

CREATION OF A MACHINE FOR MILLING PEAT DEPOSITS TOGETHER WITH THE STUMPS WITHOUT PRIOR UPROOTING

B.F. Zyuzin, A.I. Zhigulskaya, S.N. Gamayunov

The relevance of the topic is due to the fact that there are no complexes of machines for low-tonnage peat production on the peat equipment market. The necessity of developing a machine for milling peat deposits together with stumps, which are the woody remains of marsh vegetation buried in it, without prior uprooting, is substantiated. The key technical characteristics and features of the milling drum are given, which should ensure the necessary quality of peat products. The introduction of a new milling machine will improve the process of low-tonnage peat production and increase its economic efficiency.

Keywords: peat machines, milling drum, peat deposit, peat, combed wood - stumps, surface-layer milling, efficiency

Одним из путей снижения затрат по малотоннажному производству фрезерного торфа поверхностно-послойным способом является разработка пнистых залежей без предварительного корчевания [1]. С этой целью необходимо спроектировать и изготовить новую машину для фрезерования, позволяющую измельчать на небольшую глубину торфяную залежь вместе с находящимися в ней древесными включениями.

Применение высокопроизводительной техники для корчевки полей и производства торфа на малоконтурных месторождениях не является целесообразным, поскольку их потенциальные возможности не могут быть полностью реализованы на небольших участках. Это приводит к высоким капитальным затратам и, как следствие, значительному увеличению себестоимости продукции.

Для разработки небольших участков торфяных месторождений требуется разработать и создать комплекс многофункционального оборудования [2], в состав которого будет включен фрезер, предназначенный для измельчения поверхностного слоя торфяной залежи вместе с пнями.

Ранее было создано много вариантов машин и оборудования по сплошному фрезерованию торфяной залежи вместе с пнями, но они не получили в свое время широкого распространения из-за конструктивных недоработок, низкого качества измельчения, выброса пней (что считалось недостатком) и, что наиболее весомо, высокой энергоемкости процесса измельчения [3].

В настоящее время с появлением мощных тракторов и новых информационных технологий в конструировании появились условия, позволяющие исследователям и практикам вернуться к дальнейшему развитию данного направления, но уже на качественно новом уровне [4].

Поверхностно-послойное механическое рыхление торфяной залежи – первая операция технологического процесса производства крошкообразного торфа, от эффективности которой зависят многие технологические параметры (время сушки, величина сборов и др.) и показатели качества конечной продукции [2]. Наиболее распространенным методом измельчения поверхности залежи является ее фрезерование [5].

Получении крошкообразного торфа оптимальной фракции позволяет значительно упростить технологию этого способа производства и в целом повысить качество получаемой продукции. Поэтому в новой машине по измельчению поверхности торфяной залежи следует предусмотреть получение максимального количества фракций от 10 до 25 мм.

Анализ результативности сплошного фрезерования торфа, содержащего древесные включения, принято проводить на основе оценки удельного расхода энергии и характеристик фракций измельченного материала [6].

В торфяной залежи древесина расположена неоднородно, и при обработке торфяного слоя происходит ее фрезерование вдоль, поперек и перпендикулярно волокнам. Это усложняет достижение однородности переработки, поскольку сопротивление древесины резанию варьируется в зависимости от направления волокон. Средний удельный расход энергии на фрезерование торфа вместе с пнями составил $1,9 \text{ МДж/м}^3$.

Качество фрезерования залежи определяется фракционным составом получаемой торфяной крошки, а также ходом процесса сушки последней в производственном цикле. Важным критерием является состояние поверхности полей после работы этих механизмов. На фракционный состав сфрезерованной торфяной крошки также влияют глубина фрезерования, характеристики залежи и окружная скорость вращения фрезы, то есть скорость резания залежи.

Качество фрезерования залежи имеет существенное значение, и при производстве крошкообразного торфа в разработанной нами технологической схеме. Оно должно быть таким, чтобы получить наименьшее количество мелких частиц и более однородный состав сфрезерованного слоя, необходимый для создания благоприятных условий сушки. Эти факторы обеспечивают более быстрое высыхание фрезерной крошки на поле сушки. Поэтому конструкция фрезы и геометрия ножей должны обеспечить полу-

чения наилучшего фракционного состава фрезерной крошки для сушки в слое и уменьшить коэффициент неравномерности расстила.

Предлагается создать агрегат, состоящий из двух секций, которые за один проход машины будут способны фрезеровать полосу шириной 4,5 метра. Оптимизация процесса производства фрезерного торфа с использованием предлагаемого фрезерующего аппарата приведет к значительному улучшению качества получаемого продукта.

Известно, что агрегаты с большей шириной захвата требуют специальных устройств для копирования поверхности поля и характеризуются низкой маневренностью, высокой металлоемкостью, недостаточной надежностью в работе и трудоемкостью обслуживания [7].

Вопрос о конструкции режущих ножей фрезера, материале, из которого они изготавливаются, а также их расположении на барабане имеет ключевое значение для эффективного функционирования агрегата по фрезерованию. Необходимо продолжить исследовательские работы в этой области, ибо правильное решение этой задачи может существенно улучшить показатели сплошного фрезерования пнистой торфяной залежи.

Вследствие существенной разницы в энергетических затратах на фрезерование торфа ($0,86 \text{ МДж/м}^3$) и торфа с древесными включениями ($5,76 \text{ МДж/м}^3$), а также из-за неравномерного распределения древесных включений в слое торфяной залежи, степень неравномерности нагрузки на гидромотор фрезы, вызванная только увеличением массы фрезерного барабана, радиус которого ограничен конструктивными особенностями, является нерациональной.

Понятно, чтобы получить необходимую для расщепления древесины окружную скорость нужно либо увеличить окружную скорость, что связано с техническими ограничениями, либо увеличить диаметр фрезы, что является более возможным в реализации способом.

Если учесть, что масса фрезы обратно пропорциональна квадрату окружной скорости, то при постоянном значении числа оборотов массу фрезы значительно можно уменьшить только с увеличением ее диаметра.

Для предотвращения перегрузки гидромотора при столкновении фрезерного барабана с большим количеством древесных остатков и последующей блокировки, что приводит к простоям, рекомендуется использовать два гидромотора, объединенных общей гидравлической системой. Когда фрезер режет слой залежи, содержащей сравнительно небольшое количество пней, включается только один гидравлический мотор. В случае его перегрузки автоматически включается второй. Понятно, что параллельная работа двух гидромоторов будет более эффективной, чем одного с той же суммарной мощностью.

Возрождение машин и оборудования по сплошному фрезерованию торфяной залежи имеет особое значение для торфопредприятий средней и малой мощности. Применение фрезерующих машин для послойно-поверхностной экскавации торфа из залежи совместно с пнями позволит

значительно упростить процесс производства крошкообразного торфа для его дальнейшей переработки или использования в качестве топлива.

Фрезерование торфа вместе с пнями считалось энергоемким процессом, а отсутствие мощного отечественного тягача и ряд других факторов не позволили довести эти разработки до серийного производства.

Однако в предшествующие десятилетия накоплен большой объем теоретических и производственных исследований по этой теме, которые позволяют использовать их как основу для создания новой техники по фрезерованию торфяной залежи вместе с пнями.

Переработка влажного торфа и измельчение древесных включений и фрагментов волокнистой массы до заданной фракции 10–25 мм с помощью разрабатываемого фрезерного аппарата позволит осуществлять производство высококачественного крошкообразного торфа даже на среднепнистых залежах. При этом будет устранена необходимость в подкорчевке полей фрезерования, что значительно упрощает сам процесс производства торфа на пнистых массивах, исключая необходимость временного прекращения работы производственных площадей для проведения подкорчевки, а также потребность в оборудовании и трудовых ресурсах для выполнения этих трудоемких работ.

Таким образом, реализация задачи по поверхностно-послойному фрезерованию торфяной залежи, включающей в себя погребенные в ней древесные включения, представляется вполне осуществимой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гамаюнов С.Н. Рациональная технология малотоннажного производства фрезерного торфа / С.Н. Гамаюнов, Б.Ф. Зюзин // Сб. научн. тр.: «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики». Минск: БНТУ. 2019, т. 2. С. 24–32.
2. Гамаюнов С.Н. Тенденции производства и переработки торфа для нужд сельского хозяйства: монография / С.Н. Гамаюнов. Тверь: «Триада», 2016. 256 с.
3. Штин, С.М. Исследования по резанию торфа и болотной древесины / С.М. Штин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012, № 6. С. 374–376.
4. Дистортность в методологии взаимодействия технологических машин с торфяной залежью: монография / Б.Ф. Зюзин, А. И. Жигульская, С.А. Юдин. Тверь: Тверской гос. технический ун-т, 2021. 167 с.
5. Зюзин Б.Ф. Технологические машины и оборудование для разработки торфяных месторождений: оптимальные параметры и режимы работы фрезерующих устройств: монография / Б.Ф. Зюзин, А.И. Жигульская. Тверь: Издатель Кондратьев А.Н., 2023. – 175 с.
6. Самсонов Л.Н. Фрезерование торфяной залежи / М.: Недра, 1985. 211 с.
7. Копенкин В.Д. Развитие фрезерующих машин в торфяном производстве (анализ, перспективы) / В.Д. Копенкин, Л.В. Копенкина, Л.Н. Самсонов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2003, № 10. С. 201–207.

УДК 622.232.8

ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ СКОЛА ОТ ЦЕЛИКА ПИКОВЫМИ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ОРГАНАМИ

Гаращенко Ж.М. Иванов С.Л.

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II

Рассмотрена энергоэффективность процесса отделения угля от массива с осуществлением крупного скола. Представлены результаты экспериментальных исследований по внедрению пики с разными углами заострения в массив, моделируемый блоком, находящимся в напряжении.

Ключевые слова: уголь, целик, выемочный модуль, статическое нагружение

CHIPPING FROM THE PILLAR WITH PEAK EXECUTIVE BODIES

Garashchenko ZH. M., Ivanov S.L.

Considers the efficiency associated with the process of separation of coal from the massif, with the implementation of skraw gruby. There are presented the results of experimental research on implementation of peaks with different sharpening angles into the massive simulated by a stressed block.

Keywords: coal, pillar, extraction module, stress loadings

Одним из возможных технических средств для осуществления отработки угольного забоя является очистной механизированный комплекс с унифицированными выемочными модулями [1]. Унифицированный выемочный модуль представляет собой базовую конструкцию в виде секции механизированной крепи [2] в забое, с выемочным устройством в виде манипулятора с исполнительным органом, оснащенного инструментом в виде «пики».

Распорные усилия [3, 4], создаваемые инструментом, при внедрении в массив определяются углом заострения пики. Величины этих усилий определяются выражением [5]

$$T = \frac{F(\cos\alpha - f\sin\alpha)\cos\alpha}{2f\cos 2\alpha - (f^2 - 1)\sin 2\alpha} \quad (1)$$

где F – сила внедрения в массив; f – коэффициент трения; α – половина угла заострения пики.

Проведенный ряд экспериментальных исследований направленных на определение влияния внедрения пики с разным углом заострения в напряженный массив позволил оценить разницу в применении формы пик с разным углом заострения. Участок реального массива [6] моделировался блоком размером 100x100x70 мм, состоящим из куска угля марки Д, (Югра) залитым алебастром (далее образец), преднагруженного во взаимно перпендикулярных плоскостях формата 2D. Воздействие пики исследовалось на универсальной машине двухколонного настольного исполнения Zwick/Roell Z100.

В результате внедрения пик с углами заострения 90° и 30° получены графики нагружения образцов (рисунок 1. а, б). При внедрении пики разрушение образцов сопровождалось образованием магистральной трещины,

распространявшейся по всей ширине образца. При снятии нагрузки образцы развалились на отдельные большие куски.



Рис. 1. График зависимости силы внедрения от разрушения образцов

Также аналогичные эксперименты были проведены на отдельно взятых кусках угля. Получены в результате проведения серий экспериментов графики нагружения образцов (рисунок 1. в, г). Сравнивая результаты экспериментов, и учитывая схожесть процесса разрушения по характеру и диапазону затрачиваемых усилий, был сделан вывод об идентичности полученных результатов и возможности проведения дальнейших исследований на отдельных кусках угля.

В экспериментальных исследованиях энергоэффективность связана с усилием внедрения пики в уголь, а именно с образованием трещин для осуществления крупного скола, в зависимости от применяемого инструмента в виде пики изменяется и совершаемая им работа. Оценка энергоемкости процесса показала, что внедрение пики с углом заострения 30° в 5 раз эффективнее, чем внедрение пики с углом заострения 90° при одной и той же приложенной нагрузке (рисунок 2).

По результатам работы были сделаны следующие выводы:

- внедрение пики с углом заострения 30° в 5 раз эффективнее, чем внедрение пики с углом заострения 90° при одной и той же приложенной нагрузке.

- внедрение пики в напряженный образец схоже по зависимостям, характеру разрушения с внедрением пики в обычный кусок угля.

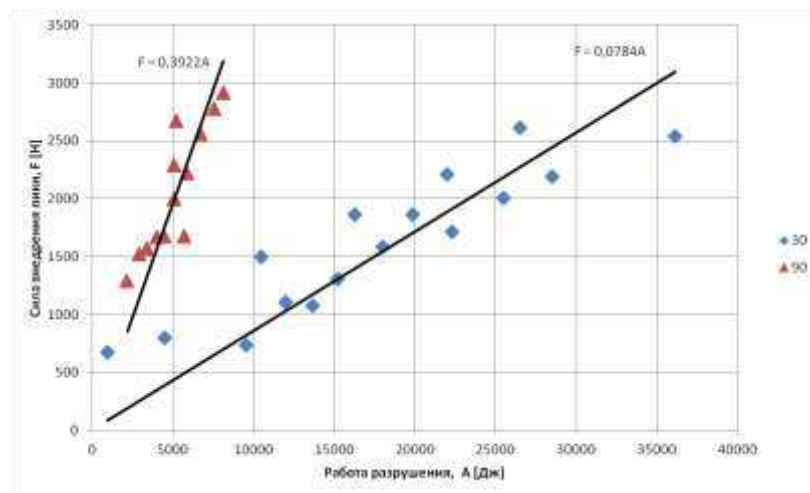


Рис. 2. Отношение силы внедрения к работе разрушения

Список литературы

1. Габов В. В., Гаращенко Ж. М. Технология отработки целиков секционными унифицированными выемочными модулями// Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2024. – № 2(162). – С. 100-107. – DOI 10.26730/1999-4125-2024-2-100-107.
2. Rudzki P., Krot P. Dynamics control of powered hydraulic roof supports in the underground longwall mining complex // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : 21, Interdisciplinary Topics in Mining and Geology, Wroclaw, Virtual, 2021. – P. 012014. – DOI 10.1088/1755-1315/942/1/012014.
3. Махмудов А., Махмудов Ш. А. Теоретическое исследование разрушения твёрдых горных пород управляемой ударной нагрузкой // Наука и инновационное развитие. 2024. Т. 7, № 6. С. 18–30.
4. Корсаков П. Ф., Иванов С. Л. Распирающие усилия при внедрении клина в шпур // Записки Ленинградского орденов Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В. Плеханова. 1986. Т. 108.
5. Литвинский Г. Г. Основы теории резания и разрушения горных пород // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. – 2017. – № 8(51). – С. 5-15.
6. Сокорнов А. А., Коньков А. Н. Физическое моделирование как инструмент верификации при решении задач геомеханики// Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2024. – Т. 21, № 4. – С. 874-890. – DOI: 10.20295/1815-588X-2024-04-874-890.

УДК 622.23.054

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ТАНГЕНЦИАЛЬНЫХ РЕЗЦОВ ПРОХОДЧЕСКО-ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ КАЛИЙНЫХ РУДНИКОВ

Грибов¹ Д.С., аспирант, Шишлянников² Д.И., д.т.н., профессор

¹ АО «ВНИИ ГАЛУРГИИ» (г. Санкт-Петербург)

² ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (г. Пермь)

Рассмотрены особенности механизированного способа добычи калийных руд и используемого для данного способа породоразрушающего инструмента (тангенциальных резцов). Обоснована актуальность задачи совершенствования конструкции тангенциальных резцов проходческо-очистных комбайнов и определены основные направления ее решения. Приведены сведения о перспективных конструкциях вышеуказанного породоразрушающего инструмента, а также выполнен анализ результатов их исследований по разрушению горных пород резанием на лабораторном режущем-испытательном стенде. Экспериментально подтверждена перспективность конструкции тангенциального неповоротного резца с полукруглой выпуклой формой передней грани и режущей кромки по критерию наименьших удельных затрат энергии на резание.

Ключевые слова: калийная руда, проходческо-очистные комбайны, породоразрушающий инструмент, лабораторный стенд, увеличение ресурса, удельные энергозатраты.

PROMISING DESIGNS OF TANGENTIAL CUTTERS FOR SINKING AND CLEANING COMBINES POTASH MINES

Gribov D.S., Shishlyannikov D.I.

The features of the mechanized method of mining potash ores and the rock-crushing tool (tangential cutters) used for this method are considered. The relevance of the task of improving the design of tangential cutters of sinking and cleaning combines is substantiated and the main directions of its solution are determined. Information is provided on the promising designs of the above-mentioned rock-crushing tool, as well as an analysis of the results of their research on the destruction of rocks by cutting on a laboratory cutting and testing bench. The promising design of a tangential non-rotating cutter with a semicircular convex shape of the front face and cutting edge has been experimentally confirmed by the criterion of the lowest specific energy consumption for cutting.

Keywords: Keywords: potash ore, sinking and cleaning combines, rock-crushing tool, laboratory stand, resource increase, specific energy consumption.

В настоящее время механизированные комбайновые комплексы нашли широкое применение при добыче калийных руд подземным способом с использованием камерной системы разработки. На рудниках России и стран СНГ преимущественно используются проходческо-очистные комбайны «Урал», оснащенные пространственными планетарно-дисковыми исполнительными органами с резцовым породоразрушающим инструментом. В ограниченном количестве применяются комбайны с роторными и барабанными исполнительными органами.

Актуальной является задача разработки резцового породоразрушающего инструмента, обеспечивающего эффективное разрушение калийного массива по критерию минимальных удельных затрат энергии, а также повышения наработки и снижения удельного расхода резцов при работе комбайнов. При этом решение данной задачи может быть получено на основе

результатов экспериментальных исследований, выполненных на лабораторных стендах и в шахтных условиях.

Конструкция исполнительных органов режущего типа и, применяющихся для них резцов, принципиально не менялась последние 40...50 лет. В частности, в настоящее время для проходческо-очистных комбайнов типа «Урал», оснащенных пространственными планетарно-дисковыми исполнительными органами, применяются тангенциальные неповоротные резцы РС-14 и поворотные резцы ПС1-8У.

Во время эксплуатации, применяемые на проходческо-очистных комбайнах резцы, воспринимают значительные нагрузки сжимающего и изгибающего характера, имеющие циклический характер действия, подвергаются интенсивному абразивному износу и перепадам температур.

При большой глубине резания, характерной для разрушения пород низкой прочности и абразивности, интенсивно изнашивается материал именно головной части резца (головная часть державки), что в дальнейшем приводит к потере твердосплавной вставки и переходу резца в неработоспособное состояние.

В технической литературе и других открытых источниках приводятся данные о перспективных конструкциях тангенциальных резцов для проходческо-очистных комбайнов калийных рудников. Так специалистами АО «ВНИИ Галургии» и ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (ПНИПУ) на основе серийно выпускаемого резца РС-14 была определена и запатентована [1] общая концепция, которая легла в основу конструкции предлагаемого тангенциального неповоротного резца с полукруглой выпуклой формой передней грани и режущей кромки (РС-55) (рис. 1).

Другим направлением, связанным с совершенствованием тангенциальных резцов и поиском их перспективных конструкций, является применение тангенциальных неповоротных резцов с крышевидной формой передней грани и треугольной формой режущей кромки (РП) (рис. 2). К достоинствам резцов РП следует отнести возможность изготовления на их базе резцов, имеющих составную конструкцию, с использованием сменной головки, что в свою очередь способствует повышению их износостойкости, увеличению ресурса и снижению материальных издержек горнодобывающих предприятий. На данное техническое решение получен патент на изобретение [2].

Процесс разрушения горных пород резцами РС-55 и РП был исследован с использованием спроектированного сотрудниками кафедры «Горная электромеханика» ФГАОУ ВО «ПНИПУ», при участии специалистов АО «ВНИИ Галургии», лабораторного режуще-испытательного стенда на базе поперечно-строгального станка 7307ТД, являющегося физической моделью механизма разрушения породного массива одиночным резцом горного комбайна [3].

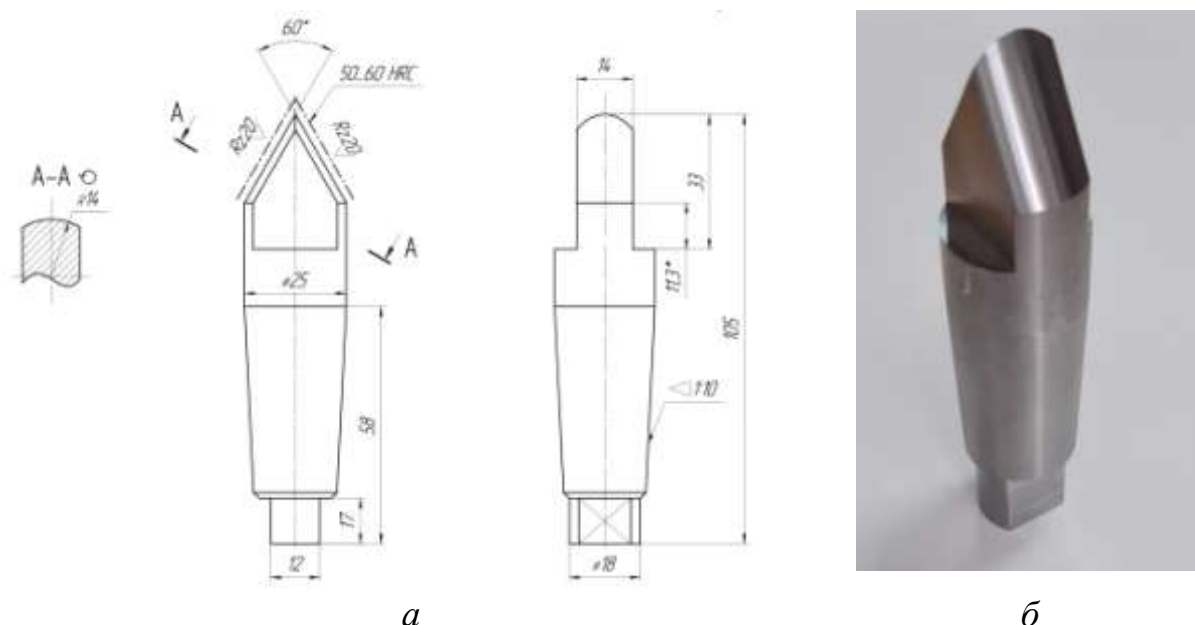


Рис. 1. Геометрические параметры (а) и общий вид (б) тангенциального неповоротного резца РС-55

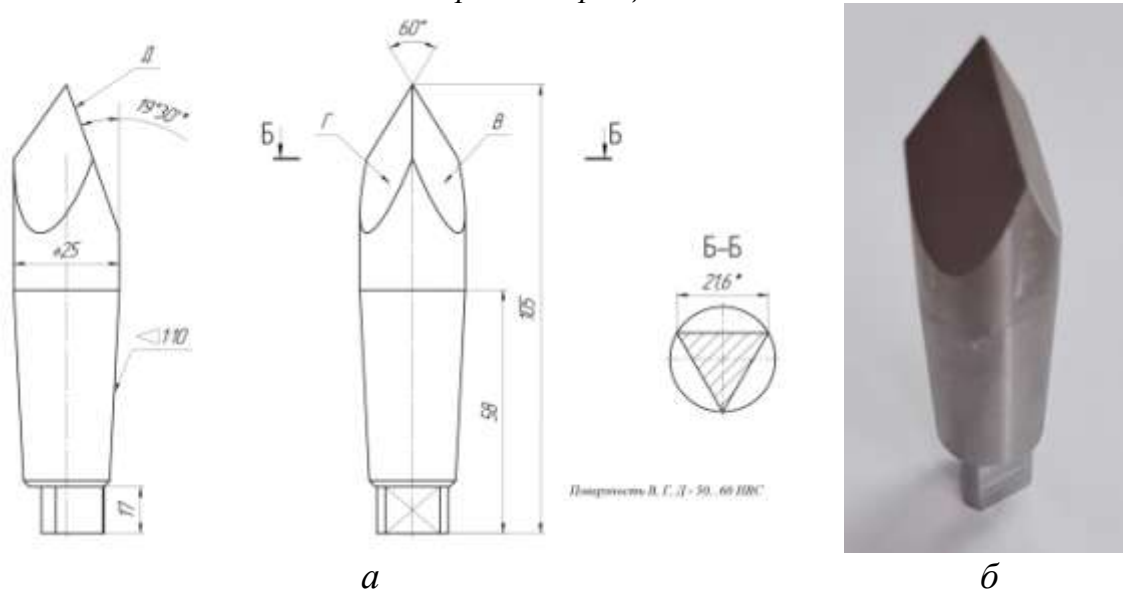


Рис. 2. Геометрические параметры (а) и общий вид (б) тангенциального неповоротного резца РП

При проведении вышеуказанных экспериментальных исследований учитывались следующие условия:

- исследования были проведены на блоках гипса строительного как изотропного материала, свойства которого приближены к свойствам калийной руды, но характеризующегося меньшей величиной сопротивляемости резанию, что обеспечивает выполнение вышеуказанных исследований в полном объеме при фактических прочностных характеристиках станда;
- для проведения исследований использовались как серийно выпускаемые резцы РС-14, так и экспериментальные резцы РС-55 и РП;

– блоки гипса разрушались с применением шахматной и последовательной схем резания с шагом резания $t = 20; 40; 60$ мм и толщиной стружки $h = 5; 10; 15$ мм.

Результаты проведенных исследований показали, что:

– резец РС-55 обеспечивает снижение удельных затрат энергии по сравнению с серийным резцом РС-14 на 10...15 % как для шахматной, так и для последовательной схем резания.

– для резца РП удельные затраты энергии находятся на уровне удельных затрат энергии для резца РС-14 как для шахматной, так и для последовательной схем резания.

Вышеуказанные результаты позволяют сделать вывод, что резец РС-55 можно, в целом, отнести к наиболее перспективным и рекомендовать его для проведения испытаний в условиях действующего калийного рудника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. RU2530138 С1 МПК E21C 35/18. Резец для проходческо-очистных и выемочных комбайнов (варианты) / Карабанов К. В., Чекмасов Н. В., Романовский А. А. - № 2013120853/03; заявл. 06.05.2013; опубл. 10.10.2014 Бюл. № 28. – 15 с.

2. Пат. RU2755106 С1 МПК E21C 35/18. Составной резец с устройством крепления на исполнительном органе машины / Шишлянников Д. И., Суханов А. Е., Васильев А. Л., Борисов А. В., Грибов Д. С. - № 2020141330; заявл. 14.12.2020; опубл. 13.09.2021. Бюл. № 26. – 12 с.

3. Шишлянников Д. И., Грибов Д. С., Просовский К. А., Тюбеев И. Х., Ситников Д. А. Стенд для разрушения горных пород резанием и результаты исследования на нем блоков калийной руды // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 10. – С. 78–91.

УДК 622.331.002.5

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ТОРФЯНЫХ СТРУКТУР

Зюзин Б.Ф., д.т.н., профессор, Жигульская А.И., к.т.н., доцент,
Рыльский С.А., аспирант

Тверской государственный технический университет

В качестве комплексного критерия оценки принят показатель уровня нелинейности X_A , определяющий характер качественных изменений в исследуемой системе. Эта оценка необходима для установления соотношения внутренней и внешней энергии в переходном процессе.

Ключевые слова: классификация методов переработки, торфяные структуры, уровень нелинейности, дистортность.

CLASSIFICATION OF PROCESSING METHODS PEAT STRUCTURES

Zyuzin B.F., Zhigulskaya A.I., Rylskiy S.A.

The indicator of the level of nonlinearity of X_A , which determines the nature of qualitative changes in the system under study, has been adopted as a comprehensive assessment criterion. This assessment is necessary to establish the ratio of internal and external energy in the transition process.

Keywords: classification of processing methods, peat structures, level of nonlinearity, distortion.

В качестве комплексного критерия оценки принят показатель уровня нелинейности X_A , определяющий характер качественных изменений в исследуемой системе [1]. Эта оценка необходима для установления соотношения внутренней и внешней энергии в переходном процессе.

По характеру функциональной зависимости процессы подразделяются на энергопоглощающие (с переходом на более низкий энергетический уровень) (рис. 1, а) и энерговыделяющие (с переходом на более высокий энергетический уровень) (рис. 1, б).

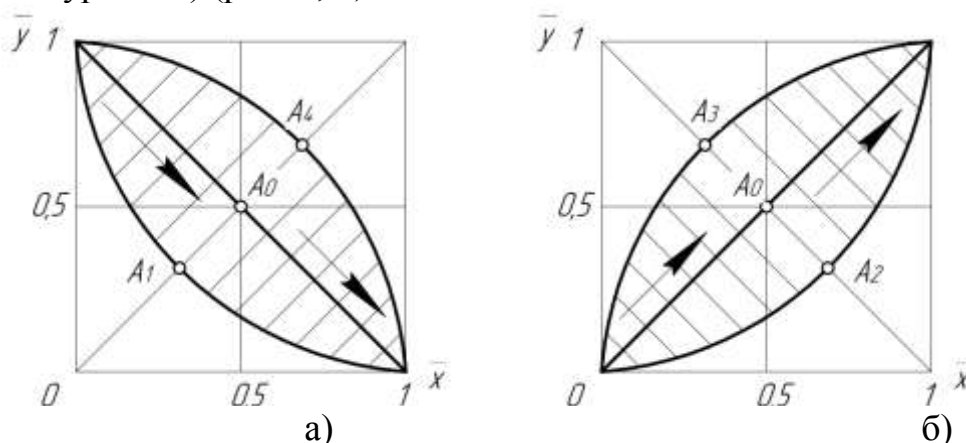


Рис. 1. Классификация основных методов переработки по характеру зависимости: а) энергопоглощающая; б) энерговыделяющая

По уровню функциональности процессы разделяют на низко- (при $Y_A < 0,5$; рис. 2, а) и высокофункциональные (при $Y_A > 0,5$; рис. 2, б).

Сложность классификация механических методов переработки состоит в том, что в реальных условиях под ней подразумевается совокупность внешних воздействий, создающих определенное напряженное состояние, в

результате чего изменяется соотношение внутренней и внешней энергии тела и происходит качественное преобразование структуры.

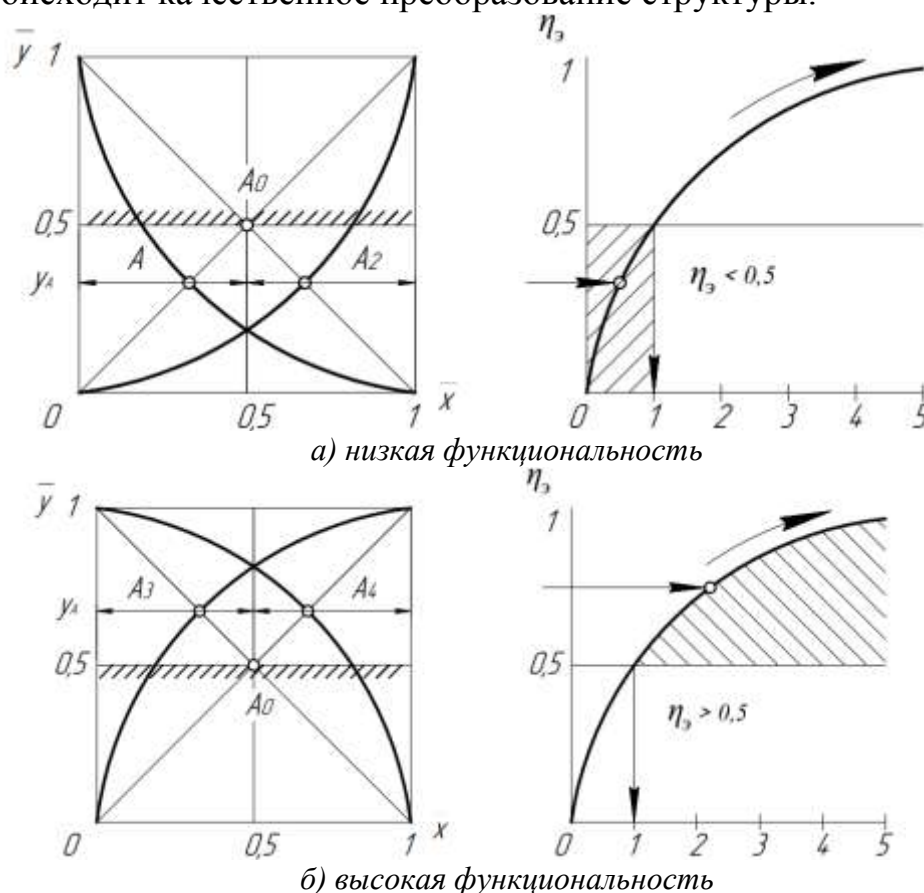


Рис. 2. Классификация основных методов переработки по уровню функциональности

Качество механической переработки торфа, по Ф.А. Опейко, оценивается величиной интенсивности деформации λ . С другой стороны, перерабатывающая способность механизмов характеризуется, по С.С. Корчунову, энергией переработки единицы объема торфа, имеющего сопротивление пластическому сдвигу $\tau = 1$ Па. Условная энергия переработки непосредственно связана с показателем деформации торфа соотношением $\Pi = \sqrt{2}\lambda$. Если механическая переработка совершается не мгновенно, а за конечный промежуток времени, то, пока торф находится в перерабатывающем, фрезерующем или формирующем устройствах при постоянном

$$P = \sqrt{2} \int_0^{\lambda} \tau d\lambda = \sqrt{\alpha} \tau \lambda,$$

величина $P_{уд} = \sqrt{2}r$ представляет собой удельную энергию механической переработки, отнесенную к единице объема торфа и степени переработки.

Данные показатели применяются для количественной оценки технологических процессов переработки. В то же время их можно связать с уровнем нелинейности при помощи критериев периодичности.

Так, значение показателя условной энергии переработки Π можно приравнять величине периода переходного процесса:

$$\Pi = \sqrt{2}\lambda = T = \frac{2}{(0,5 - X_A)}.$$

При $X_A = 1/3$ величина интенсивности деформаций должна быть дискретна $\lambda = 6\sqrt{2}$. Частотная характеристика процессов переработки кратна обратной величине периодичности (частоты)

$$\nu = \frac{1}{\sqrt{2}\lambda} = \frac{0,5 - X_A}{2}.$$

Таким образом, уровень нелинейности процесса непосредственно связан с характеристиками степени переработки. Функциональность работы перерабатывающих механизмов, а также сами методы механической переработки могут быть однозначно оценены такими критериями, как период, частота, фрактальная размерность, уровень нелинейности [2]. Поэтому можно выделить три степени переработки: 1 – низкая ($Y_A < 1/3$); 2 – средняя ($1/3 < Y_A < 2/3$); 3 – высокая ($Y_A > 2/3$).

Список литературы

1. Миронов В.А., Зюзин Б.Ф., Лотов В.Н. Дистортность в механике горных пород: монография. Тверь: ТвГТУ, 1995. 196 с.
2. Зюзин Б.Ф., Жигульская А.И., Копенкина Л.В. Дистортность в процессах торфяного производства: монография, в 2-х ч. Тверь: ТвГТУ, 2025. Ч. II. 160 с.

УДК 622.331.002.5

РАЗРАБОТКА МНОГОЦЕЛЕВОГО ПОГРУЗЧИКА НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ АДАПТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ФРЕЗЕРНОГО ТОРФА

Гамаюнов С.Н., д.т.н., профессор, Зюзин Б.Ф., д.т.н., профессор
Тверской государственный технический университет

Для эффективной разработки торфяных месторождений используются специализированные машины, среди которых особое место занимают погрузчики торфа непрерывного действия. На рынке оборудования нет комплексов машин по малотоннажному производству торфа. Предложено адаптировать широко распространенную промышленную технологическую схему с раздельной уборкой из наращиваемых валков, в которой предполагается разработать и использовать машины и агрегаты многоцелевого назначения. Одним из ключевых преимуществ новой машины является ее многофункциональность, она может быть адаптирована под специфические нужды пользователей.

Ключевые слова: торфяные машины, многоцелевой погрузчик, производство торфа.

DEVELOPMENT OF A MULTI-PURPOSE LOADER CONTINUOUS OPERATION FOR ADAPTIVE PEAT MILLING TECHNOLOGY

Gamayunov S.N., Zyuzin B.F.

Specialized machines are used for the effective development of peat deposits, among which continuous peat loaders occupy a special place. There are no complexes of machines for low-tonnage peat production on the equipment market. It is proposed to adapt a widespread industrial technological scheme with separate harvesting from stackable rolls, in which it is planned to develop and use multi-purpose machines and units. One of the key advantages of the new machine is its versatility, it can be adapted to the specific needs of the user.

Keywords: peat machines, multi-purpose loader, peat production.

Технологические машины и оборудование для разработки торфяных месторождений могут быть отнесены к классу горных машин и оборудованию для открытых горных работ. Однако условия их эксплуатации определяют и соответствующую их специфику, а именно: они должны обеспечивать работоспособность техники на неосушенных торфяных месторождениях – на слабых органоминеральных грунтах. При этом должны удовлетворяться соответствующие условия по устойчивости и проходимости машин.

Торфяные месторождения, являясь лабильными природными экосистемами, требуют особого подхода к их освоению и сбалансированных наукоёмких технологий добычи и производства торфяной продукции. Для эффективной разработки торфяных месторождений используются специализированные горные машины [1], среди которых особое место занимает погрузчики фрезерного торфа непрерывного действия. Ключевая особенность таких погрузчиков – отсутствие пауз между операциями, что обеспечивает непрерывный цикл работы и щадящее воздействие на ландшафт со снижением выбросов за счёт оптимизации процессов [2].

На рынке торфяного оборудования нет комплексов техники по малотоннажному способу производства торфа, и которые можно было бы эксплуатировать на небольших по площади участках месторождений [3].

Рациональная технология производства фрезерного торфа на сравнительно небольших участках месторождений предусматривает создание машин и оборудование, значительно отличающееся от техники, которая применяется в крупном торфяном бизнесе.

Получать товарный торф различного назначения одним комплексом механизации возможно лишь при значительном усовершенствовании промышленной технологической схемы производства фрезерного торфа, предполагающей отдельную уборку из наращиваемых валков. Это, в свою очередь, требует разработки и внедрения машин и оборудования многоцелевого назначения, которые могли бы работать на участках с различной влажностью и структурой торфа. В новой адаптивной технологии малотоннажного производства фрезерного торфа предполагается использовать машины, агрегируемые с энергонасыщенными колесными тракторами. Разумеется, и все технологическое оборудование также будет обладать относительно высокой производительностью. Чтобы оно не простаивало при заданных небольших объемах производства, необходимо стремиться к тому, чтобы эти машины комплекса выполняли как можно больше технологических операций. Это подразумевает создание и использование оборудования многоцелевого назначения [4].

Исходя из этих положений, в разрабатываемой малотоннажной технологии производства фрезерного торфа вследствие применения наиболее простой технологии и универсально-комбинированных машин количество разнотипного оборудования будет сведено до минимума.

Понятно, что количество единиц техники будет зависеть от программы производства, дальности вывозки и перевозки торфа, а также технических характеристик используемого оборудования.

С этой целью предлагается разработать новую прицепную погрузочную машину – многоцелевой погрузчик (МЦП) непрерывного действия производительностью до 700 м³/ч, агрегируемый с полноприводным колесным трактором «Беларус» (МТЗ) 1221.

Эта многофункциональная машина в известной технологической схеме по производству фрезерного торфа с отдельной уборкой из наращиваемых валков будет выполнять несколько технологических операций: погрузку торфа в стандартные прицепы для его вывозки за пределы месторождения, формирование штабелей торфа на специально оборудованных площадках с надежной транспортной доступностью и круглогодичную отгрузку товарного торфа потребителю.

МЦП непрерывного действия – это самоходный конвейер с самозагрузкой имеет по сравнению с одноковшовыми погрузчиками большую производительность, меньшую энерго- и металлоемкость. Его основное рабочее оборудование: питатель нагребавшего типа, транспортирующий орган (основной ленточного конвейера) и отвальный орган, состоящий из вспомогательного ленточного конвейера. Работа погрузчика основана на принципе непрерывного цикла, что исключает остановки для загрузки и

разгрузки. Это достигается за счёт эффективной конструкции и продуманных механизмов.

В отличие от циклических погрузчиков, требующих остановок для разгрузки, непрерывные модели обеспечивают стабильный поток сырья. Это снижает себестоимость добычи на 20–30 % и увеличивает срок службы оборудования за счёт равномерной нагрузки.

Практика требует обратить внимание на потребности современного рынка производителей торфяной продукции, подстроить свои знания и опыт ученых и машиностроителей на создание инноваций в области производства торфа. Разработка небольших торфяных месторождений должна предусматривать компактные машины и оборудование, значительно отличающееся от техники, которая применяется для производства торфа промышленными предприятиями.

Разрабатываемый многоцелевой погрузчик непрерывного действия играет ключевую роль в адаптивной технологии производства фрезерного торфа. Современные технологии обеспечивают его высокую производительность и минимальное воздействие на окружающую среду.

С учётом глобальных тенденций на использование возобновляемых источников энергии, спрос на такие машины будет только расти, что открывает новые перспективы для компаний, занятых в этой области.

Эта многоцелевая погрузочная машина непрерывного действия открывает новые горизонты не только в области производства торфа. Её можно будет применять при приготовлении органических удобрений и компостов, а также расчистки и уборки дорог от снега.

Таким образом, для возрождения малотоннажного производства доброкачественно торфа необходимо разработать многофункциональный погрузчик, который в известной технологической схеме с отдельной уборкой из наращиваемых валков будет выполнять несколько технологических операций: погрузку торфа в стандартные прицепы, формирование штабелей и отгрузку потребителю.

Новая прицепная погрузочная машина фрезерного торфа из валка представляет собой шаг вперед в технологии малотоннажного производства торфа. Её многофункциональность, высокая производительность и внимание к экологическим стандартам сделают эту машину незаменимым инструментом для современных предприятий.

Инвестиции в такие технологии гарантировано принесут значительную отдачу и создадут новые возможности для эффективного ведения торфяного бизнеса.

Список литературы

1. Копенкина Л.В. Торфяные машины как класс горных машин / Л.В. Копенкина, В.Д. Копенкин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2002, № 5. С. 45–48.
2. Zyuzin B.F., Yakonovskaya T.B., Zhigulskaya A.I. A systematic approach to the peat machines and equipment classification development. Mining Science and Technology (Rus-

sia). 2022;7(4):320–329. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-06-06>

3. Гамаюнов С.Н. Совершенствование средств механизации малотоннажной добычи торфа / С.Н. Гамаюнов, А.Н. Гамаюнова // Известия вузов. Горный журнал. 2014, № 1. С. 4–12.

4. Гамаюнов, С.Н. Рациональная технология малотоннажного производства фрезерного торфа / С.Н. Гамаюнов, Б.Ф. Зюзин // Сб. научн. тр.: «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики» – 15-я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. – Минск: БНТУ. 2019, т. 2. С. 24–32.

УДК 622.6

К ВОПРОСУ О ПРОЕКТИРОВАНИИ НАЗЕМНОЙ ЧАСТИ ШАХТНОГО ПОДЪЕМНОГО КОМПЛЕКСА

Зверев В.Ю.¹, доцент, **Собянин И.А.²**, горный инженер

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь;

²ООО «УралДробСервис», Пермь, Россия

Описана актуальная проблема, возникающая при проектировании наземной части шахтных подъемных установок. Увеличение габаритов оборудования обуславливает необходимость увеличения размеров копров и зданий подъемных машин, что влияет на струну каната, длина которой ограничена нормами проектирования и правилами безопасности. В статье поднят вопрос об актуальности регламентированных параметров струны каната и предложен условие выбора ее длины.

Ключевые слова: шахтные подъемные установки, нормы проектирования, струна каната, прогиб.

ON THE ISSUE OF DESIGNING THE SURFACE PART OF THE MINE HOIST COMPLEX

Zverev V.Yu., Sobyenin I.A.

The paper describes an urgent problem that arises when designing the surface part of mine hoist plants. An increase in the size of the equipment necessitates an increase in the size of hoists and buildings of hoist machines, which affects the rope string, the length of which is limited by design standards and safety regulations. In this paper the question of the relevance of the ropes string regulated parameters and suggests a condition for choosing its length was raises.

Keywords: mine hoist plants, design standards, rope string, deflection.

Тенденция развития химических и металлургических производств России требует роста производительностей горнодобывающих рудников, что увеличивает нагрузку на эксплуатируемые при этом подъемные установки. Это приводит к необходимости применения более мощного и габаритного оборудования, что отразилось и на наземной части подъемного комплекса. В настоящее время стал актуален вопрос взаимного размещения здания подъемной машины и копра с учетом сохранения требуемой правилами безопасности длины струны каната.

Струна каната обусловлена высотой копра и относительным положением подъемной машины. Канат от подъемной машины заводится на копровай шкив на высоту H (рис. 1), достаточную для размещения в надшахтном здании технологического оборудования, обеспечения требуемых габаритов приемной площадки и высоты переподъема подъемного сосуда [1]. Применение сосудов больших габаритов приводит к необходимости увеличения этой высоты. Расстояние по горизонтали от ствола до подъемной машины L_x определяется геометрией и зависит от угла наклона струны каната к горизонту a и ее длины от точки схода со шкива L .

Проблемой при проектировании шахтного подъема является недостаточное описание требуемых параметров струны каната в нормативной документации. При размещении подъемной машины относительно ствола руководствуются правилами безопасности (ПБ), пункт 451 [2]. При этом правила безопасности для угольных шахт вообще к параметрам струны никаких требований не предъявляют [3]. При проектировании специалисты руководствуются рекомендациями нормам проектирования (ВНТП), пункты 6.45 и 6.46 [4].

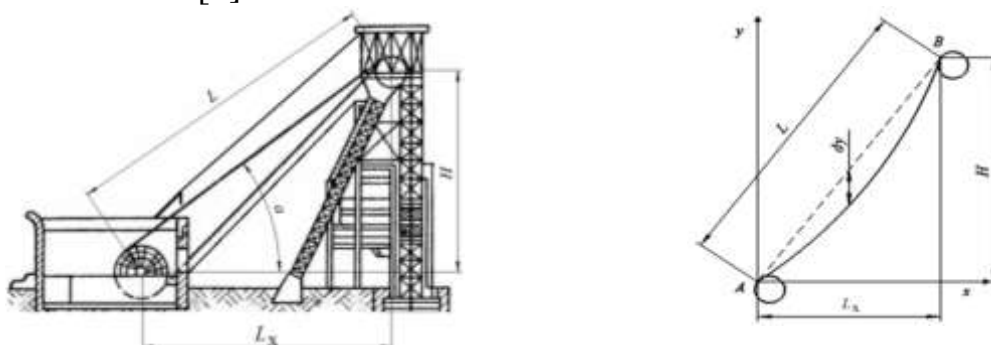


Рис. 1. Схема размещения оборудования шахтного подъемного комплекса на поверхности и параметры струны каната

Допустимые значения длины струны, зависимость от угла ее наклона, приведены в таблице 1. При превышении заданных значений требуется опереть струну каната на специальные ограничители, конструкция которых в соответствии с ВНТП должна иметь «футеровку из износостойкого материала», а в ПБ они описаны как «поддерживающие ролики». Конкретных требований к их конструкции нет, что осложняет проектирование подъемной установки из-за отсутствия описания технического решения.

Таблица 1. Требования нормативной документации к длине струны каната

	$a < 30^\circ$	$30 < a < 40^\circ$	$40 < a < 45^\circ$	$a > 45^\circ$
По ПБ	$L < 45$ м	$L < 65$ м		$L < 75$ м
По ВНТП	не описано	$L < 70$ м	$L < 80$ м	$L < 100$ м

Сравнивая области допустимых значений длины струны каната можно отметить, что требования нормативной документации не совпадают. Допустимая длина струны по ВНТП при всех углах наклона выше, чем то же значение по ПБ, что при проектировании может ввести в заблуждение, а

принятое при этом решение не отвечать Федеральным нормам и правилам. В свою очередь анализ эксплуатируемых подъемных установок рудников Верхнекамского калийного месторождения показал, что длина струны на 4 из 9 исследованных подъемов превышает регламентированные значения, достигая более 70 м (при углах наклона меньше 45 градусов), но каких-либо связанных с этим проблем эксплуатации не испытывают. Такая ситуация явно требует уточнения – при каком угле наклона какая длина струны допустима. И обоснование этого значения может быть принято исходя из ограничения прогиба струны при работе подъемной установки.

Струна каната может быть представлена абсолютно гибкой нерастяжимой однородной нитью, находящейся в поле сил тяжести, называемой, цепной линией. Положение статического равновесия струны каната можно описать уравнением равновесия цепной линии [5]:

$$y(x) = \frac{S_x}{qg} \cdot ch \left(qg \frac{x - C_0}{S_x} \right) + C_1,$$

где q - масса 1 м подъемного каната; C_0 и C_1 - постоянные интегрирования; S_x - проекция натяжения струны каната (S) на горизонтальную ось x , которая зависит от угла наклона струны.

Граничные условия цепной линии устанавливают, что она проходит через точки принадлежащие окружностям барабана подъемной машины (точка A на рис. 1) и копроового шкива (точка B на рис. 1). Решение уравнения (1) при граничных условиях $y(0)=0$ и $y(L_x)=H$ позволяет определить постоянные интегрирования C_0 и C_1 и уже с учетом их значений построить траекторию прогиба струны каната в координатах x, y (рис. 1). Прогиб струны каната имеет прямую квадратичную зависимость от ее длины при постоянном угле наклона. Наибольший прогиб канат будет иметь при минимальном натяжении.

В процессе же работы струна каната не находится в покое. Из-за раскачивания концевого груза на канате и неравномерной работы привода натяжение каната постоянно меняется, что возбуждает его поперечные колебания. При этом возникает второе важное условие, определяющее прогиб струны каната. Необходимо учитывать или не допускать резкого увеличения амплитуды раскачивания каната при совпадении собственной поперечной частоты струны и частот от внешнего воздействия из-за ее же продольных колебаний или воздействия со стороны подъемной машины (таблица 2).

Таблица 2. Уравнения частот струны каната [6]

Частота собственных поперечных колебаний струны каната	Частота продольных колебаний струны каната	Частота воздействия со стороны подъемной машины
$f_c = \frac{1}{2 \cdot L_c} \sqrt{\frac{S}{q}}$	$f_{пс} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{ES_k}{L_k \cdot m_3}}$	$f_6 = \frac{1}{n_{п}} \frac{V}{\pi \cdot D_6}$

В таблице 2 ES_k – жесткость каната на растяжение; L_k – длина отвеса каната, m_3 – эквивалентная масса подъемной установки; n_{Π} – число слоев навивки каната на барабан; V – скорость подъема; D_6 – диаметр барабана.

Экспериментальные исследования подтверждают возможность резонанса в подъемной системе (рис. 2) [6]. Так, при исследовании отклонения струны каната в процессе работы подъемной установки показано, что амплитуда колебаний струны увеличивается более чем в 2 раза при совпадении частоты f_c с f_6 вначале на первом слое навивки, а затем при совпадении f_c с $f_{\Pi c}$ и $f_{\Pi c}$ на втором слое навивки.

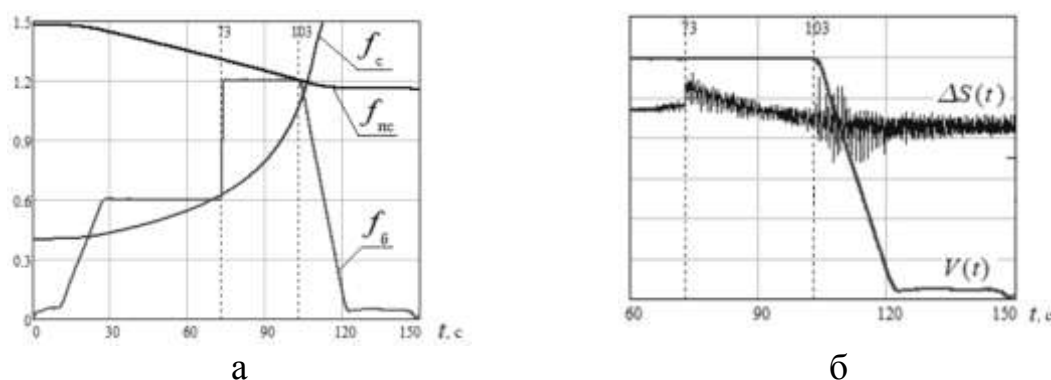


Рис. 2. Результаты исследований динамики струны каната:
а – расчетные значения частот; б – положение струны каната (ΔS)
и параметры подъема при резонансе частот

Таким образом, длина струны каната может быть обоснована исходя из расчета статического прогиба каната и расчета амплитуды его поперечных раскачиваний при работе подъемной установки. При этом важно учитывать или не допускать явление резонанса системы. В любом случае прогиб струны каната должен исключать контакт с металлоконструкциями надшахтного здания или других элементов для избегания его повреждения.

Список литературы

1. Песвианидзе А.В. Расчет шахтных подъемных установок: учеб. пособие для вузов. – М.: Недра, 1992. – 250 с.
2. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых». Утв. приказом Ростехнадзора от 8 декабря 2020 г. № 505.
3. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах». Утв. приказом Ростехнадзора от 8 декабря 2020 г. № 507.
4. Временные нормы технологического проектирования угольных и сланцевых шахт. ВНТП 1–92 / Минтопэнерго России. – М., 1993. – 111 с.
5. Динамика канатных и гидротранспортных подъемных комплексов горных предприятий / В.И. Самусь, С.Р. Ильин, В.Е. Кириченко, И.С. Ильина – Днепропетровск: Изд-во Нац. горн. ун-та, 2015. – 302 с.
6. Исследование динамики струны подъемного каната при многослойной навивке каната на барабан / В. Ю. Зверев, Г. Д. Трифанов, С. В. Воробель // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромыслового оборудования. – 2024. – Т. 1. – С. 6-12.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКОГО УПРУГО-ДЕМПФИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА В ПРИВОДЕ ПОДЪЕМА КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА

Зырянов И.В.¹, проф., Иов А.А.², инж., Иов И.А.³, канд. техн. наук,
Долгих Е.С.³, 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

Предложена конструкция пневмогидравлического упруго-демпфирующего устройства, у которого поршневая и штоковая полости гидравлического цилиндра соединены одной линией с гидроаккумулятором. По заданному характеру переходного процесса усилия в канате получены коэффициенты жесткости и демпфирования и рассчитаны конструктивные параметры пневмогидравлического амортизатора. Построены его рабочие характеристики и разработана математическая модель. Результаты численного моделирования процесса работы устройства подтвердили правильность заложенных конструктивных параметров, обеспечивающих пологие характеристики осевой жесткости амортизатора, что увеличивает диапазон «упругой зоны» и повышает эффективность устройства при применении рычажных схем передачи усилия.

Ключевые слова: пневмогидравлический амортизатор, упруго-демпфирующее устройство, рычажный механизм, математическое моделирование.

STUDY OF PNEUMO-HYDRAULIC ELASTIC-DAMPING DEVICE IN THE HOISTING MECHANISM OF A MINING SHOVEL

Zyryanov I.V., Iov A.A., Iov I.A., Dolgih E.S.

The design of a pneumatic-hydraulic elastic-damping device is proposed, in which the piston and rod cavities of the hydraulic cylinder are connected by a single line with a hydraulic accumulator. According to the specified nature of the transient process of force in the rope, the coefficients of stiffness and damping are obtained and the design parameters of the pneumatic-hydraulic shock absorber are calculated. Its operating characteristics are constructed and a mathematical model is developed. The results of numerical modeling of the device operation process confirmed the correctness of the embedded design parameters, providing flat characteristics of the axial stiffness of the shock absorber, which increases the range of the "elastic zone" and improves the efficiency of the device when using lever schemes for transmitting force.

Keywords: pneumohydraulic shock absorber, elastic-damping device, lever mechanism, mathematical modeling.

Введение. Динамические нагрузки в главных механизмах карьерного экскаватора интенсивно расходуют ресурс металлоконструкций рабочего оборудования [1,2]. Эффективным средством снижения нагрузок является использование дополнительных упруго-демпфирующих устройств (УДУ) в приводах напора и подъема. Известные конструкции УДУ в рабочем оборудовании экскаваторов не обеспечивают интенсивного поглощения энергии колебаний из-за ограниченного диапазона работы в «упругой зоне» и нелинейных силовых характеристик пневмогидравлических амортизаторов (ПГА), а их размещение затрудняет процесс технического обслуживания и ремонта [3]. Поэтому, поиск новых конструкций УДУ и мест их установки в рабочем оборудовании остается актуальным. В настоящей работе приво-

дятся результаты исследований разработанной конструкции пневмогидравлического УДУ, устанавливаемого в механизме подъема карьерного экскаватора ЭКГ-5А и взаимодействующего с подъемным канатом через рычажный механизм.

Объектом исследования является схема УДУ, установленного на поворотной платформе экскаватора и взаимодействующего с подъёмным канатом через рычажный механизм передачи усилия, особенностью которой является уменьшение прикладываемой силы к УДУ со стороны каната при повороте рычага. Использование известных конструкций ПГА в данной кинематической схеме не обеспечивает эффективное поглощение энергии колебаний из-за малого диапазона работы в «упругой зоне», определяемого наклоном характеристики осевой жёсткости устройства. Для увеличения этого диапазона предлагается конструкция ПГА (рис. 1а), в котором поршневая и штоковая полости гидроцилиндра 1, посредством трубопроводов 2 и дросселя 3 соединяются с гидроаккумулятором 4. Данное техническое решение позволяет уменьшить крутизну рабочей характеристики устройства без значительного увеличения объема гидроаккумуляторов.

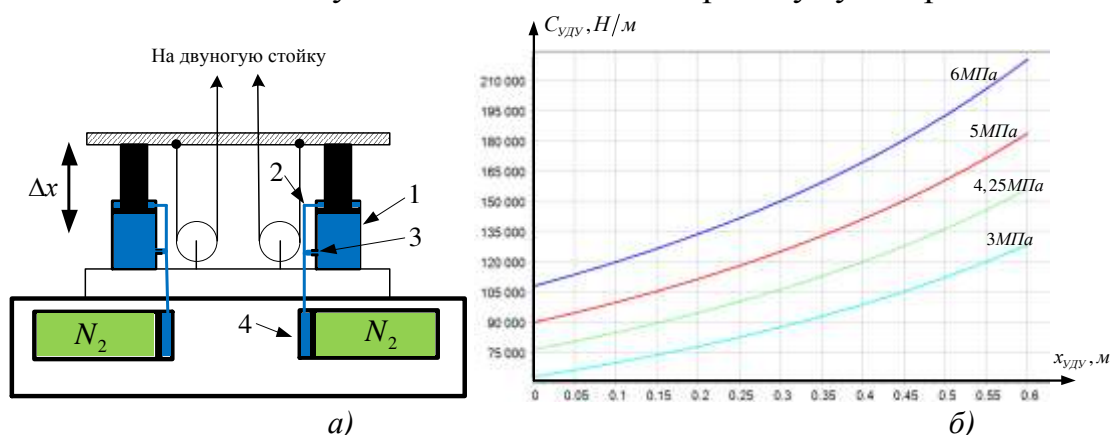


Рис. 1. Конструкция пневмогидравлического УДУ (слева) и его характеристика осевой жёсткости при различных зарядных давлениях (справа).

Используя методы решения обратных задач динамики [4] выполним расчёт параметров УДУ, установленного в механизме подъёма экскаватора ЭКГ-5А. При заданных параметрах механической системы и колебательном характере переходного процесса упругого усилия в канате (коэффициент относительного демпфирования $\zeta=0,5$) получены значения коэффициентов жесткости $c_3=118,68$ кН/м и вязкого трения $b_3=102,6$ кНс/м, на основе которых определяются конструктивные параметры пневмогидравлического амортизатора в соответствии с выражениями

$$C_{ПГА}(p_0, x_{ПГА}) = \frac{2np_0 S_{ш}^2 (a_\mu - 1)^2}{V_1 \left(1 - \frac{S_{ш} x_{ПГА}}{V_1} (a_\mu - 1) \right)^{n+1}} \quad \text{и} \quad b_K = \frac{S_{ш}^3 \rho}{\mu_{оп}^2 S_{оп}^2}.$$

Жёсткость C_{ydy} зависит коэффициента отношения эффективных площадей поршневой S_{II} и штоковой S_{III} полости a_{μ} , хода штока $x_{ПГА}$, объёма гидроаккумулятора V_1 и его зарядного давления p_0 . Сила вязкого трения определяется конструктивным исполнением μ_{op} и размером сечения дросселя S_{op} , плотностью рабочей жидкости ρ и скоростью её истечения. Рассчитанные конструктивные параметры ПГА приведены в таблице 1, а характеристики его осевой жёсткости при зарядных давлениях 3–6 МПа показаны на рис. 1б.

Таблица 1 – Параметры пневмогидравлического амортизатора

Параметр	Значение	Параметр	Значение
Диаметр поршня (внутренний диаметр цилиндра) $d_n, мм$	180	Диаметр поршня (внутренний диаметр цилиндра) $d_{nca}, мм$	210
Диаметр штока $d_{ш}, мм$	140	Длина газовой полости $l_{г.п.}, мм$	1000
Ход штока $x_{шт}, мм$	600	Зарядное давление $p_0, МПа$	4,25
Высота поршня $l_n, мм$	50	Максимальное осевое усилие сжатия $F, кН$	220

Разработана математическая модель ПГА в Matlab Simulink [5] (рис.2а), учитывающая характер течения рабочей жидкости, трение в стенках гидроцилиндра, длину трубопроводов и политропный процесс сжатия газа в гидроаккумуляторе. Проведено математическое моделирование и получены осциллограммы давления и расхода гидравлического масла (рис. 2б).

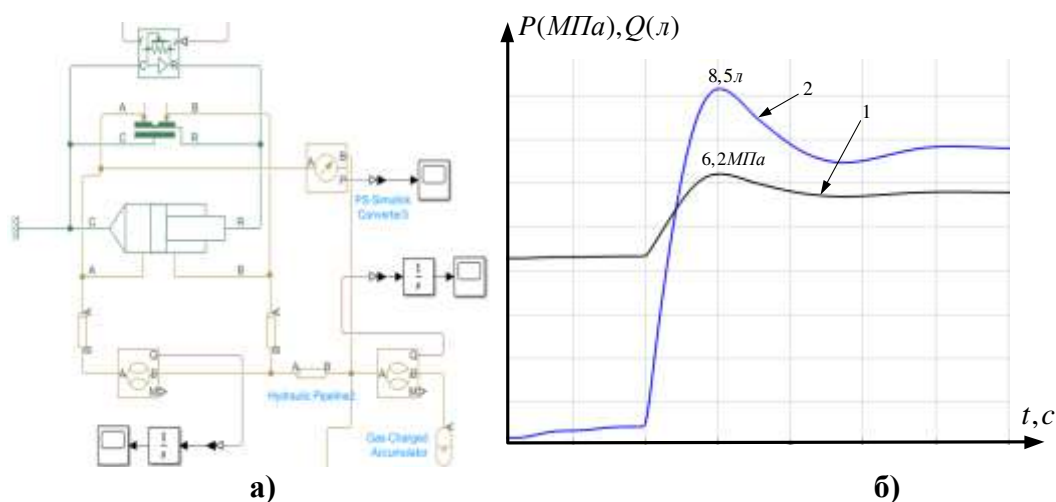


Рис. 2. Гидравлическая схема пневмогидравлического амортизатора (а) и осциллограммы (б) давления (1) и расхода (2).

По результатам моделирования установлено, что давление газа в полости гидроаккумулятора при перемещении штока на 0,6 метра увеличива-

ется на 45%, с 4,25 МПа до 6,2 МПа. Объем масла, вытесняемый из поршневой полости гидроцилиндра и равный 13,4 литра, распределяется между штоковой полостью и гидроаккумулятором в объемах 4,9 и 8,5 литров соответственно. Объединение полостей гидроцилиндра и гидроаккумулятора позволяет получить пологие характеристики осевой жёсткости ПГА и расширить диапазон упругой зоны при минимальных габаритах устройства.

Заключение. Предложена конструкция упруго-демпфирующего устройства, устанавливаемого в механизме подъема карьерного экскаватора, состоящая из рычага и пневмогидравлического амортизатора, у которого поршневая и штоковые полости соединены одним трубопроводом с гидроаккумулятором. На основе решения обратной задачи динамики определены коэффициенты жесткости и демпфирования устройства, по которым рассчитаны конструктивные параметры амортизатора и требуемый объем гидроаккумулятора. Разработана математическая модель и проведено численное моделирование, результаты которого подтвердили эффективность предлагаемого технического решения.

Список литературы

1. Махно Д.Е. Хладноломкость и хладностойкость 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. Москвичев, В. В. Оценка показателей эксплуатационной надежности карьерных канатных экскаваторов / В. В. Москвичев, М. А. Ковалев // Транспортные системы и технологии. – 2020. – Т. 6, № 4. – С. 25-44. – DOI 10.17816/transsyst20206425-44.
3. Губенко А.А., Свиначук В.П. Обзор и анализ параметров конструкций упруго-демпфирующих устройств // Научный вестник МГТУ. выпуск 1. — М.: 2011. С. 9-19.
4. Определение параметров упругодемпфирующих устройств в механизмах карьерных экскаваторов / И. А. Иов, Н. К. Кузнецов, Е. С. Долгих, А. А. Иов // Устойчивое развитие горных территорий. – 2023. – Т. 15, № 3(57). – С. 798-805. – DOI 10.21177/1998-4502-2023-15-3-798-805.
5. Сарач, Е. Б. Исследование внутренней динамики пневмогидравлических устройств / Е. Б. Сарач, А. А. Ципилев // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2017. – № 2(683). – С. 19-29.

УДК 622.331.002.5

ДИСТОРТНОСТЬ В ПРОЦЕССЕ СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ

Зюзин Б.Ф., д.т.н., профессор, Жигульская А.И., к.т.н., доцент,
Кирюхин С.А., аспирант

Тверской государственный технический университет

Рассмотрены моменты контакта режущего элемента с торфяной залежью в процессе стружкообразования с позиций оценки уровня нелинейности – дистортности.

Ключевые слова: фрезерование торфяной залежи, стружкообразование, функциональная нелинейность, дистортность.

DISTORTION IN THE CHIP FORMING PROCESS WHEN MILLING PEAT DEPOSITS

Zyuzin B.F., Zhigulskaya A.I., Kiryukhin S.A.

The moments of contact of the cutting element with the peat deposit during chip formation are considered from the standpoint of assessing the level of nonlinearity – distortion.

Keywords: milling of peat deposits, chip formation, functional nonlinearity, distortion.

В качестве обобщенного критерия эффективности разрушения слоя торфяной залежи предлагается использовать отношение, у которого числитель – удельное сопротивление слоя торфяной залежи разрушению (коэффициент сопротивления резанию K_p и удельная энергоемкость фрезерования A) при заданном способе фрезерования, а знаменатель – сопротивление разрушению (предельное напряжение сдвига τ_T или отрыва σ_p слоя торфяной залежи). Величина A/τ_T характеризует степень эффективности разрушения. Чем больше отношение A/τ_T , тем более энергоемок данный способ стружкообразования при фрезеровании. Эффективность процесса разрушения непосредственно связана с уровнем нелинейности функциональной зависимости. Фрезерование торфяной залежи осуществляется ротационными механизмами – фрезами.

Стружкообразование происходит путем криволинейного резания слоя (рис. 1). Особенность фрезерования заключается в том, что процессы заглабления, резания и вывода режущего инструмента осуществляются одновременно и непрерывно. Толщина срезаемой стружки является переменной ($0 < \delta < h$). То же происходит и с глубиной фрезерования.

Характер процессов заглабления, резания и траектории срезания стружки r . Момент выхода (контакта) режущего элемента в торфяную залежь характеризуется величиной заглабления (глубиной фрезерования) или в общем случае безразмерным параметром стружкообразования $b = h/r$.

При этом мгновенное значение толщины срезаемой стружки определяется из выражения

$$\delta_n = (1 - b_i/b)/(1 - b_i),$$

где b_i – текущее положение параметра.

На рис. 2 приведена номограмма мгновенного значения толщины стружки $\delta_n = f(b_i)$ в диапазоне изменения $b_i = 0,1 - 0,99$.

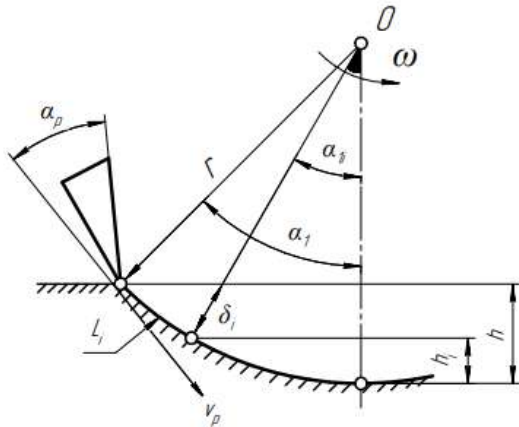


Рис. 1. Схема движения режущего элемента при фрезеровании

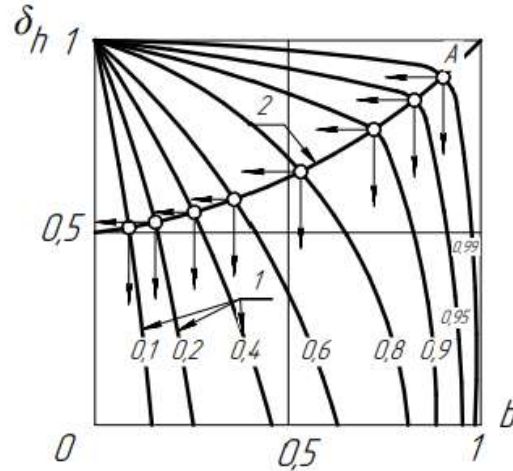


Рис. 2. Изменение толщины стружки: 1 – зависимость $\delta_n = f(b_i)$ при $b_i = 0,1 - 0,99$; 2 – геометрическое место критериальных точек A_i

Уровень нелинейности данных функциональных зависимостей оценивался положением критериальной точки A_i , геометрическое место которой определено кривой 2. В диапазоне режимов работы поверхностного фрезерования при $b_i \leq 0,2$ зависимость по уровню нелинейности приближается к линейной, и можно полагать, что $\delta_n = 1 - b_i$.

Заглубление режущего элемента сопряжено с одновременным его движением по дуге контакта с торфяной залежью L .

Изменение длины контакта определяется выражением

$$L_h = \frac{1}{b} [\arccos(1 - b) - \arccos(1 - b_i)].$$

При $b \rightarrow 0$ величина $L_h \rightarrow \max$ и фрезерование приближается к режиму обычного прямолинейного резания. Функция $L_h = f(b_i)$ в практическом диапазоне режимов работы фрезерующих устройств ($b_i \leq 0,2$) носит нелинейный характер (рис. 3).

С достаточной степенью точности закономерность изменения мгновенного значения длины дуги контакта режущего инструмента с торфяной залежью может быть выражена экспоненциальной зависимостью

$$\bar{L} = te^{1 - (\frac{b_i}{m})},$$

где $t = 1/e = 0,386$.

Используя (4.34) и (4.35), можно установить закон изменения мгновенного значения толщины срезаемой стружки $\delta = f(L)$, который в свою очередь определяет характер изменения удельного сопротивления резанию, поскольку между параметрами стружкообразования и энергетикой фрезерования существует функциональная взаимосвязь.

Так как $\bar{L} = e^{-(1-\delta)^e}$ или $\ln \bar{L} = \delta e - e$, то

$$\bar{\delta} = 1 + \left(\frac{\ln \bar{L}}{e} \right).$$

На рис. 4. приведены основные закономерности стружкообразования при фрезеровании торфяной залежи. Зависимость $\bar{\delta} = f(L)$ носит нелинейный характер при $X_A = \frac{1}{e} = 0,386$, что соответствует поверхностному разрушению. Экспериментальная проверка закономерности образования стружки в процессе фрезерования проводилась в лабораторных условиях и с использованием тензометрической аппаратуры для записи усилия резания, в диапазоне изменения параметра $0 < b \leq 0,2$.

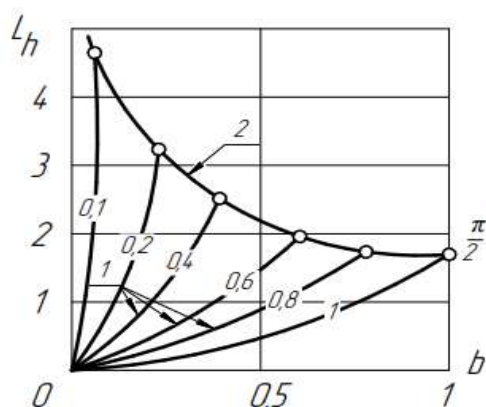


Рис. 3. Изменение длины дуги контакта ножа с торфяной залежью: 1 – зависимость $L_h = f(b_i)$ при $b_i = 0,1 - 1$; 2 – огибающая L_{hmax}

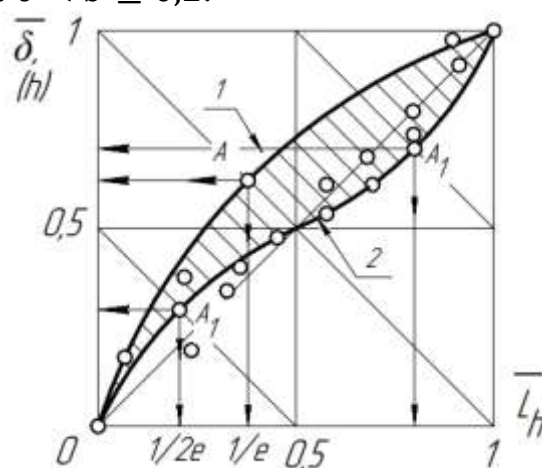


Рис. 4. Основные закономерности стружкообразования: 1 – теоретическая зависимость $\delta_n = f(\bar{L})$; 2 – результаты экспериментальных исследований

Установка позволяла моделировать режим работы существующих промышленных фрезеров при скорости резания $v_p = 3 - 5$ м/с, площади сечения срезаемой стружки $S = 3,53 - 14,14 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ и коэффициенте её кривизны $K_\phi = h/e = 0,04 - 0,2$.

Моделирование указанных режимов работы фрезерующих устройств обеспечивалось соответствующим подбором окружной и поступательной скоростей подачи, а также глубиной фрезерования. При этом в каждой серии экспериментов поддерживались постоянные ограничения по скорости резания и режиму фрезерования. Проводилось встречное и попутное фрезерование, что позволяло изменять кривизну срезаемой стружки более чем в 5 раз. При планировании экспериментов использовались специальные вычислительные программы и ЭВМ.

Полученные экспериментальные данные отражают общую закономерность изменения толщины стружки.

Зависимость $\bar{\delta} = f(L)$ с практической точки зрения может аппроксимироваться линейной функцией, т.е. изменение толщины срезаемой стружки или усилия резания при фрезеровании происходило по треугольнику. Однако детальная экспериментальная проверка позволила установить уменьшение усилия резания по сравнению с теорией, что объясняется

процессом скалывания стружки. Так, в начале процесса усилие резания возрастает по кривой I , при $L = 0,4 - 0,5$ из-за скалывания оно снижается и на предельной глубине фрезерования вновь возрастает до максимума.

В зависимости от длины контакта режущего инструмента с торфяной залежью и ее физико-механических свойств этот процесс может повторяться, вследствие чего образуется стружка скола (фрезерная крошка).

Ввиду иерархического и дискретного характера процесса разрушения закономерность стружкообразования при фрезеровании может быть представлена модельной функциональной кривой, уровень нелинейности которой $X_A = 1/e$, а в рассматриваемом случае $X_{Ai} = 1/2e$.

В начальной стадии при заглаблении режущего элемента происходит интенсивное дробление слоя торфяной залежи, преобладает процесс образования поверхностей ($Y_{A1} > 0,5$).

После скола характер процесса разрушения меняется, здесь преобладает деформирование ($Y_{A2} < 0,5$).

Список литературы

1. Миронов В.А., Зюзин Б.Ф., Лотов В.Н. Дистортность в механике горных пород: монография. Тверь: ТвГТУ, 1995. 196 с.
2. Зюзин Б.Ф., Жигульская А.И., Копенкина Л.В. Дистортность в процессах торфяного производства: монография, в 2-х ч. Тверь: ТвГТУ, 2025. Ч. II. 160 с.

УДК 622.331.002.5

КЛАССИФИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ГЛУБОКОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ

Юсов Д.С., магистрант, Иванова П.В., к.т.н., доц., Иванов С.Л., д.т.н., проф.
Санкт-Петербургский Горный университет императрицы Екатерины II,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

В современных условиях обеспечения энергетической безопасности государства выступает ключевой задачей. На долю торфяного ресурса приходится около трети общего энергетического запаса страны. Помимо получения энергии, торф находит обширное применение в сельхоз производстве и химической отрасли. На данный момент главная доля по добыче торфа возлагается на фрезерный способ. Процесс получения начинается с подготовки полей с удалением лесов и кустарников, выкорчевыванием или глубоким фрезерованием древесных включений внутри залежи. Из-за конструктивных недостатков используемого оборудования возникают проблемы с качеством получения готовой продукции из-за ее засорения. В тезисах описаны методы подготовительных работ к эксплуатации или ремонту торфяных полей. Проанализированы конструктивные особенности рабочих органов и режущих элементов для агрегатов глубокого фрезерования. Описана классификация оборудования и инструментов для глубокого фрезерования торфяной залежи с разными видами силовой установки.

Ключевые слова: торфяная залежь, режущий элемент, глубокое фрезерование, встречно фрезерование, попутное фрезерование, классификация, корчевание.

CLASSIFICATION OF EQUIPMENT FOR DEEP MILLING OF PEAT DEPOSITS

Yusov D.S., Ivanova P.V., Ivanov S.L.

In modern conditions, ensuring the energy security of the state has become a key task. Peat resources account for about one-third of the country's total energy reserves. In addition to energy production, peat finds extensive application in agricultural production and the chemical industry. At present, the main share of peat extraction is carried out using the milling method. The process begins with field preparation, which involves the removal of forests and shrubs, as well as the grubbing or deep milling of woody inclusions within the peat deposit. Due to the design limitations of the equipment used, problems arise with the quality of the final product due to contamination. The thesis outlines methods for preparatory work prior to the operation or repair of peat fields. The structural features of working components and cutting elements for deep milling machines are analyzed. A classification of equipment and tools for deep milling of peat deposits, powered by different types of power units, is described.

Keywords: peat deposit, cutting element, deep milling, counter-milling, concurrent milling, classification, grubbing.

В настоящий момент на территории Российской Федерации залегают более 63 % запасов торфяного сырья. Во многом торф используется в качестве энергетического ресурса, что при больших объемах делает его одним из крупнейших элементов в обеспечении энергобезопасности страны. Из-за сложной географии России, торфяное сырье играет ключевую роль в отоплении и выработке электроэнергии в удаленных областях [1]. Стоит отметить, что торф применяется еще во многих сферах человеческой деятельности, особенно в сельском хозяйстве в качестве удобрения [2]. На текущий момент существуют два основных способа добычи торфяного сырья: экскаваторный и фрезерный [3]. Фрезерный способ давно зарекомендовал себя как наиболее надежный и простой в использовании, что позволило ему занять главенствующую позицию. При подготовки торфяных карт первоначально осуществляется расчистка местности с удалением

стволов деревьев и кустарников [4]. В дальнейшем технологическая операция делится на две принципиально разные методики. Первая представляет собой корчевание древесных включений, в то время как вторая – это глубокое фрезерование торфяной залежи [5].

При извлечении древесных включений из торфяной залежи на этапе подготовки и ремонта полей применяют машины и агрегаты с возможностью выкорчёвывания пней. В дальнейшем погрузочная машина их вывозит для измельчения, утилизации или захоронения. При альтернативном способе весь процесс заменяется на глубокое фрезерование с разрушением древесных включений непосредственно внутри залежи. В связи со значительными показателями удельного сопротивления древесины над торфом, фрезер испытывает резкопеременные высокие нагрузки, негативно на него влияющие [6]. Исходя из этого, можно разделить машины по отдельным группам, такие как, корчевали с корчующим элементом для извлечения древесных включений, агрегаты глубокого фрезерования или машина комбинированного действия с объединением двух операций сразу. Рассматривая последнюю, стоит пояснить принцип ее работы. Он основан на извлечении пней корчующим ротором с переносом древесины в бункер для измельчения. В это время, фрезерный барабан глубокого фрезерования, вращаясь встречным или попутным способом, перемешивает и рыхлит залежь на глубину до 400 мм [6]. Для оптимального выбора необходимой машины стоит изначально оценить пнистость месторождения при помощи методик Центральной торфяной опытной станции (ЦТОС) или Московского торфяного института (МТИ) с особым вниманием к распределению древесных включений по площади [7, 8]. При выполнении технологической операции попутного фрезерования, вращение режущего органа происходит в том же направлении, что и движения агрегата. В результате такой конфигурации размельченный материал выбрасывается назад из нижней части рабочей зоны. При этом древесные элементы плотно прилегают к залежи под воздействием инструмента, что обеспечивает более активный процесс резания. Однако такая методика сопровождается значительными динамическими нагрузками, поскольку при погружении ножа в древесину первоначально формируется максимальная толщина стружки, которая постепенно уменьшается к завершению цикла резания. При применении встречного фрезерования торфяной залежи наблюдается противоположное направление вращения барабана и движения агрегата. В этом случае фрезерный элемент проникает внутрь слоя торфа, выбрасывая его массу вверх и вперед относительно направления движения машины. В начале процесса резания толщина получаемой стружки минимальна, постепенно увеличиваясь к завершению операции. Такой режим работы существенно стабилизирует динамику фрезерования [9]. Однако если торф недостаточно плотный, возникает риск выдергивания отдельных древесных фрагментов, что аналогично процессу корчевания. Это значительно снижает эффективность резания и может вызвать перегрузки оборудования. Для оптимизации ра-

боты в таких условиях рекомендуется предварительная подготовка поверхности или корректировка параметров фрезерования. Рабочие органы при фрезеровании можно разделить на три укрупненных блока со своей спецификой полезной деятельности, а именно: орган вида барабан, который наиболее часто применяется в производственных условиях, шнеки и узкоспециализированный [10]. К последнему относятся типы, связанные с корчеванием или экскавацией. Также возможное разделение исполнительного элемента по его форме. Из-за высокой популярности барабанного типа рабочего органа, основная форма является цилиндром, но не стоит забывать про конические или иные специальные формы. Сами режущие элементы исполняются в виде ножей или резцов, отличающиеся количеством режущих граней, одной с двумя плоскостями резания и двумя с тремя плоскостями соответственно.

Заключение

В тезисах выполнена классификация оборудования для глубокого фрезерования торфяной залежи, включающая отличительные признаки самих машин и агрегатов, их рабочий орган с учетом формы и режущий элемент. В данной работе предусмотрен особый вид машины с комбинированным действием как корчевание, так и глубокое фрезерование. Такой подход открывает новые возможности для совершенствования техники и технологий, применяемые при подготовке торфяной залежи, и требует проведения углубленных исследований. Особое внимание в рамках этого правления следует уделить изучению процессов резания древесины, поскольку именно этот этап оказывает значительное влияние на эффективность работы машины. Кроме того, необходимы исследования по оптимизации конструкции рабочих органов и их оснащения, что позволит снизить энергоемкость процесса. Внедрение комбинированных решений способно не только улучшить качество подготовки поверхности, но и минимизировать потери при избыточном количестве машин и агрегатов.

Список литературы

1. Евзеров В.Я. Торф – неиспользованный сырьевой ресурс северо-запада Российской Арктики // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – 2021. – №18. – С. 160–164. – doi.org/10.31241/FNS.2021.18.029.
2. Utenkova T. G., Kremcheev E. A., Nagornov D. O., Ivanov S. L. Mechanical dewatering of sapropel in its small-scale mining technology // Sustainable Development of Mountain Territories. – 2023. – 15(2) – pp. 308-316. – doi.org/10.21177/1998-4502-2023-15-2-308-316.
3. Мякотных А.А., Иванова П.В., Иванов С.Л. К вопросу классификации комплексов добычи торфяного сырья // Горная промышленность. – 2023. – №6 – С.137–142. – doi.org/10.30686/1609-9192-2023-6-137-142.
4. Жигульская А.И., Лемешев А.В., Гусева А.М., Бурмистров И.С. Классификация машин и оборудования для добычи и переработки древесных ресурсов торфяного месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – №11. – С. 144-150.
5. Бедретдинов Г.Х. Повышение производительности фрезерных машин при расчистке закустаренных земель // Сельский механизатор. – 2021. – № 2. – С. 10-11.

6. Яконовская Т.Б., Жигульская И.А. Совершенствование технологии разработки торфяного месторождения. Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений // Уральская горнопромышленная декада: сборник докладов X Международной научно-технической конференции. Екатеринбург – 2021 – с.80-88. EDN: IBCRPW

7. Панов В.В., Токарев С.В., Женихов Ю.Н. Методические особенности разведки месторождений торфа в соответствии с целями их использования // Труды Инсторфа. – 2018 – 18(71):8-27. EDN: VUCJRB

8. Лаптева С.Б., Мокроусова И.В., Алексеева С.Ю. Определение пнистости на торфяном месторождении в Тверской области // Сборник статей V Международной научно-практической конференции. Пенза – 2022 – с. 125-129. EDN: ZIUAVQ

9. Фомин К.В., Жигульская А.И. Инженерная методика анализа динамических нагрузок на элементах привода машин глубокого фрезерования // Труды Инсторфа. – 2015 – 12(65) – с. 27-32. EDN: VJGNCN

10. Юсов Д.С., Иванова П.В., Иванов С.Л. Систематизация рабочих органов машин глубокого фрезерования // Горная промышленность. –2024 – №(3) –85–89с. – doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3-85-89

УДК 622.23.05

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРНО-МАССОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКСКАВИРОВАННОГО ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ ЧАСТИЧНО НАРУШЕННОЙ СТРУКТУРЫ

Казаков Ю. А., к.т.н., ассистент, Козачков Г. С., аспирант,
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г.
Санкт-Петербург, Россия

Для выбора конструктивных, кинематических и энергетических параметров, режимов эксплуатации, а также обоснования и формирования структуры мобильного модуля измельчения торфяного экскавированного сырья с рабочим органом в виде полого конического барабана с продольными проходными ножами необходимо исходить из размерно-массовых, физико-механических и прочностных свойств и характеристик экскавированного торфяного сырья частично нарушенной структуры (с учетом наличия древесных включений), что позволит рационализировать конструкцию режущего рабочего органа и снизить энергоемкость процесса измельчения торфяного сырья.

Ключевые слова: торфяное сырье, измельчение, модуль измельчения, экскавация.

MOBILE MODULE OF PEAT RAW MATERIAL GRINDING AS A PART OF FIELD EQUIPMENT SET

Kazakov Yu. A. PhD, assistant, Kozachkov G. S. PhD student,

To select the design, kinematic, and energy parameters, as well as the operating modes, and to justify and form the structure of a mobile module for grinding excavated peat raw material with a working tool in the form of a hollow conical drum equipped with longitudinal through knives, it is necessary to consider the dimensional, mass, physical, mechanical, and strength properties and characteristics of partially structure-damaged excavated peat raw material (taking into account the presence of woody inclusions). This will allow for the rationalization of the cutting tool's design and reduce the energy intensity of the peat raw material grinding process.

Keywords: peat raw material, grinding, grinding module, excavation.

При карьерной добыче торфяного сырья процесс его извлечения осуществляется с использованием экскаваторного оборудования, оснащенного ковшом. В ходе захвата стружки с откоса забоя происходит его механическое разрыхление и фрагментация, что можно рассматривать как начальную стадию обработки материала. В процессе данной операции в ковш экскаватора также попадают древесные включения, габаритные размеры которых, как правило, не превышают вместимость или геометрические параметры рабочего органа (ковша) [1].

Торфяное сырье в толще торфяной залежи располагается параллельными слоями. Усреднение торфяного сырья в процессе добычи осуществляют путем срезания сплошной стружки с откоса забоя. При экскавации забор материала с откоса осуществляют в направлении, перпендикулярном слоистости торфяной залежи [2].

В приемный бункер мобильного модуля измельчения торфяное сырье попадает из промежуточного отвала при помощи фронтального погрузчика, что обеспечивает повторное перемешивание торфяного сырья.

В полевых условиях на месторождении «Заозерское» Ломоносовского района Ленинградской области проведена заготовка характерных образцов

экскавированного торфяного сырья частично нарушенной структуры. Физико-механические характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1– Физико-механические характеристики торфяного сырья

Верховой фускум торф	
Степень разложения:	$R = 20 \%$
Плотность торфа:	$\rho = 754 \text{ кг/м}^3$
Засоренность залежи древесными включениями:	1,1 %

Из массива экскавированного торфяного сырья после экскавации (рисунок 1) выбраны образцы (рисунки 2) для определения их размерно-массовых характеристик.



Рис. 1. Массив экскавированного торфяного сырья



Рис. 2. Образец торфяного сырья

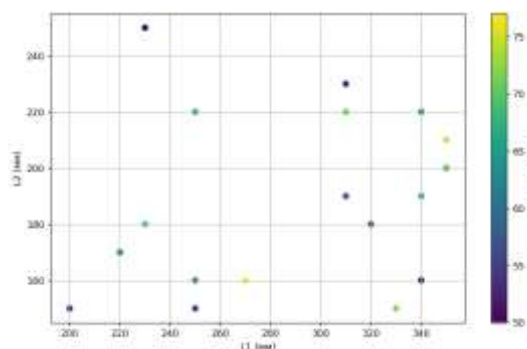


Рис. 3. График размерных характеристик образцов торфяного сырья

Были проведены замеры 18 характерных образцов произвольной формы по двум большим сторонам $L1$, $L2$ и толщине (рисунок 3).

Для рационального измельчения торфяного экскавированного сырья полым коническим барабаном с продольными проходными ножами необходимо учитывать толщину образцов, составляющих массив частично нарушенной структуры. Минимальная толщина образцов, составляющая 50 мм, определяет максимальное расстояние от режущей кромки ножа до поверхности барабана. При увеличении данного расстояния торфяное сырье будет попадать в полость барабана без измельчения. Максимальные длины сторон не оказывают влияние на конструкцию барабана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов А. В., Казаков Ю. А., Гарифуллин Д. Р. Короткова О. Ю., Агагена А. Анализ структуры мобильного комплекса для добычи органогенного сырья карьерным способом // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. № 6–1. – С. 317–330.
2. Открытые горные работы – XXI век. Справочник. Том 2 Анистратов Ю. И., Анистратов К. Ю. и др. – М.: Система максимум, 2019. – 872 с.

УДК 622.23.05

ОПТИМИЗАЦИЯ СХЕМ ОТРАБОТКИ ПОРОДНОГО УСТУПА С ВЫЕМОЧНО-ПОГРУЗОЧНЫМ ДРАГЛАЙНОМ И ИННОВАЦИОННЫМ КОВШОМ

Клементьева¹ И.Н., канд. техн. наук, Куулар^{1,2} О.О., ст. преп.

¹Национальный исследовательский технологический ун-тет «МИСИС», г. Москва;

²Тувинский государственный университет, г. Кызыл

Рассмотрены схемы и параметры отработки породного уступа выемочно-погрузочным драглайном с инновационным опрокидным ковшом с погрузкой горной массы в автосамосвал на уровне, выше и ниже уровня его стояния. Даны расчетные формулы для определения площади зоны и длины хорды разгрузки ковша, максимального превышения уровня транспортного горизонта над уровнем стояния драглайна, максимальной величины понижения уровня транспортного горизонта при однопутной схеме разгрузки ковша ВПД в автосамосвал.

Ключевые слова: выемочно-погрузочный драглайн, инновационный опрокидной ковш, схема отработки, погрузка в автосамосвал, схемы разгрузки.

OPTIMIZATION OF ROCK SHELF MINING SCHEMES WITH A DREDGING AND LOADING DRAGLINE AND AN INNOVATIVE BUCKET

Klementyeva I.N., Kuular O.O.

The article discusses the schemes and parameters of mining a rock bench by a dredging and loading dragline with an innovative tilting bucket with loading of rock mass into a dump truck at the level, above and below the level of its standing. Calculation formulas are given to determine the area of the zone and the length of the chord of bucket unloading, the maximum excess of the transport horizon level over the dragline level, the maximum value of the lowering of the transport horizon level with a single-track scheme of unloading the VPD bucket into a dump truck.

Keywords: excavation-loading dragline, innovative tilting bucket, processing scheme, loading into a dump truck, unloading schemes.

За последние десятилетия сохраняется преимущественное применение техники циклического действия. Это свидетельствует о необходимости совершенствования техники и технологии ведения горных работ [1, 2].

Сегодня на карьерах и разрезах основные материальные ресурсы (более 85%) затрачиваются на транспорт и экскавацию горной массы. На производство транспортных работ свыше 50% капитальных вложений, эксплуатационных расходов и трудовых ресурсов. В составе транспортных работ по своему удельному весу выделяются затраты на автотранспорт и на содержание железнодорожных путей [3, 4].

Рассмотрим подробно схему отработки породного уступа выемочно-погрузочным драглайном (ВПД) с инновационным опрокидным ковшом [5, 6, 7] с погрузкой горной массы в автосамосвал на уровне его стояния (см. рис. 1).

Из схемы, приведенной на рис. 1 следует, что зона разгрузки ковша ВПД при погрузке горной массы в автосамосвал на уровне его стояния на рабочей площадке ограничена в плане радиусами наибольшего R_{pmax} и наименьшего R_{pmin} места стояния транспортного средства от оси поворота платформы драглайна и хордой, учитывающей минимальное расстояние от

r – радиус вращения пят стрелы, м;

$h_{\text{п}}$ – высота пяты стрелы драглайна от уровня его стояния, м.

Если рассчитанное по соотношению (1) расстояние между осями автодорог меньше двойной ширины автосамосвала – Ш ($0 < E < 2\text{Ш}$), то *разгрузка ковша ВПД в автосамосвал на уровне его стояния на рабочей площадке может осуществляться только при одном пути с радиусом разгрузки, равным*

$$R_{\text{pmin}} = R_{\text{pmax}} - E, \text{ м} \quad (2)$$

При однопутной схеме разгрузки длина хорды в зоне разгрузки ковша определится как

$$L_x = 2R_{\text{pmin}} \sin 0,5(\varphi_{\text{пmax}} - \varphi_{\text{пmin}}), \text{ м} \quad (3)$$

Площадь зоны разгрузки ковша в автосамосвал на уровне стояния драглайна при двухпутной схеме составит [8]

$$S_p = 0,5[(\varphi_{\text{пmax}} - \varphi_{\text{пmin}})(R_{\text{pmax}}^2 - R_{\text{pmin}}^2) + R_{\text{pmin}}^2 \sin(\varphi_{\text{пmax}} - \varphi_{\text{пmin}})], \text{ м}^2 \quad (4)$$

Здесь $\varphi_{\text{пmax}}$, $\varphi_{\text{пmin}}$ – максимальный и минимальный угол разгрузки ковша в подстреловом пространстве, рад.

Далее, рассмотрим схему отработки породного уступа выемочно-погрузочным драглайном с инновационным опрокидным ковшом с погрузкой горной массы в автосамосвал *выше уровня его стояния* (см. рис. 2).

Из схемы, приведенной на рис. 2, следует, что зона разгрузки ковша ВПД *при погрузке горной массы в автосамосвал выше уровня его стояния на рабочей площадке* ограничена в плане радиусами наибольшего R_{pmax} и наименьшего R_{pmin} места стояния транспортного средства от оси поворота платформы драглайна и хордой, учитывающей минимальное расстояние от места стояния автосамосвала в зоне разгрузки драглайна до верхней бровки уступа – C и ширину автосамосвала – Ш .

Причем радиус R_{pmax} наибольшего места стояния транспортного средства определяется паспортным наибольшим радиусом разгрузки драглайна, а радиус R_{pmin} наименьшего места стояния транспортного средства определяется высотой стрелы в точке «Опп» ее подстрелового пространства с учетом алгебраической суммы длин разгружаемого опрокидного ковша с упряжью – H_y , наименьшей высоты выгрузки – H_{Bmin} , безопасного расстояния от верхней точки упряжи до стрелы драглайна – H_2 и высоты – H_1 превышения уровня транспортного горизонта над рабочей площадкой (см. рис. 2).

Из рисунка 2 следует, что расстояние между осями автодорог – E определяется соотношением

$$E = (R_{\text{pmax}} - r) \left(1 - \frac{H_1 + H_2 + H_y + H_{\text{Bmin}} - h_{\text{п}}}{l_c \sin \alpha_c} \right), \text{ м} \quad (5)$$

При этом максимальное превышение уровня транспортного горизонта над уровнем стояния драглайна – H_1 даже при одном пути не может быть больше величины

$$H_1 \leq l_c \sin \alpha_c - (H_1 + H_2 + H_y + H_{\text{Bmin}} - h_{\text{п}}), \text{ м} \quad (6)$$

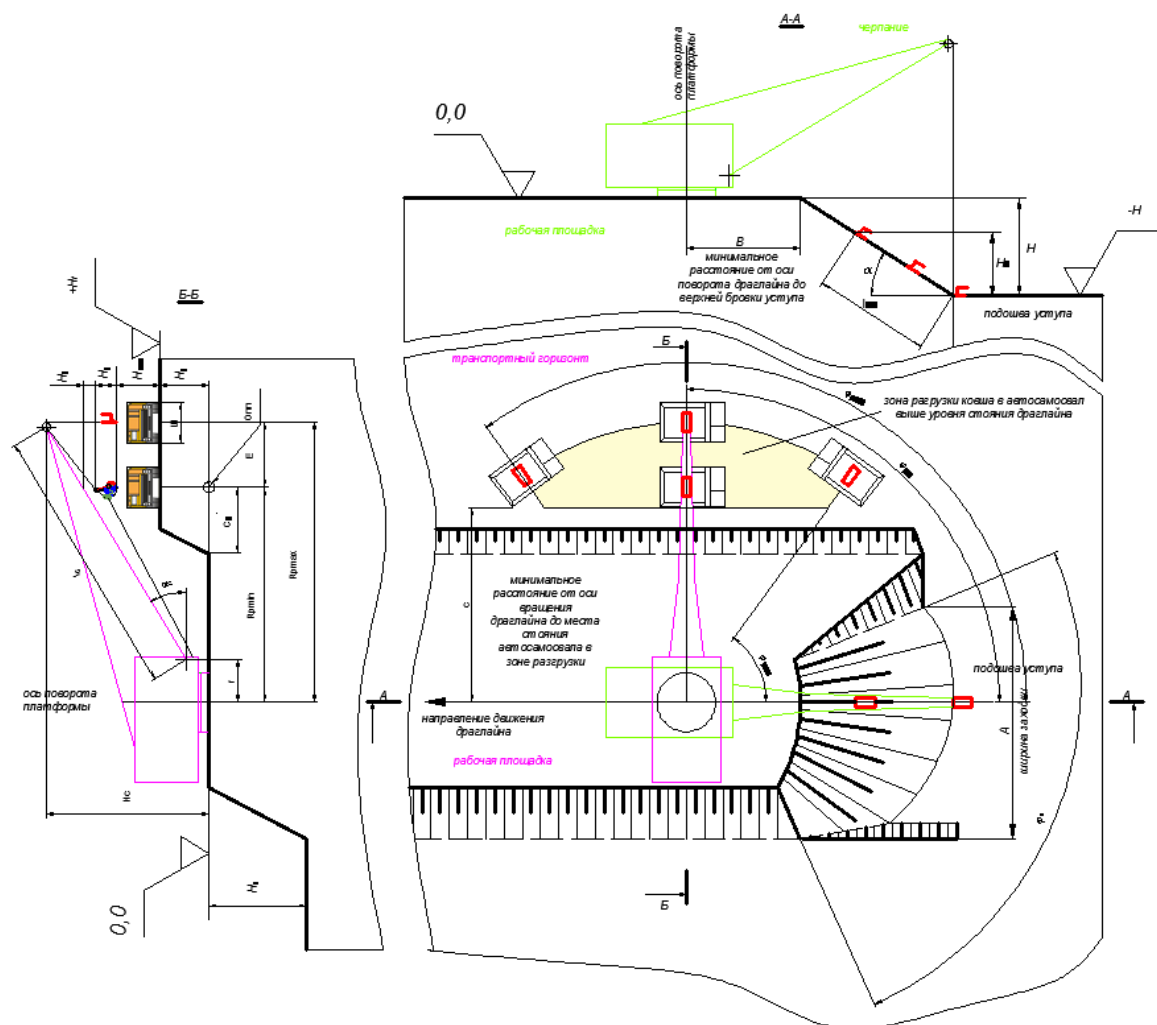


Рис. 2. Параметры отработки породного уступа выемочно-погрузочным драглайном с инновационным опрокидным ковшом с погрузкой горной массы в автосамосвал выше уровня его стояния

Рассмотрим схему отработки породного уступа выемочно-погрузочным драглайном с инновационным опрокидным ковшом с погрузкой горной массы в автосамосвал ниже уровня его стояния (см. рис. 3).

Из схемы, приведенной на рис. 3 следует, что зона разгрузки ковша ВПД при погрузке горной массы в автосамосвал ниже уровня его стояния на рабочей площадке ограничена в плане радиусами наибольшего R_{rmax} и наименьшего R_{rmin} места стояния транспортного средства от оси поворота платформы драглайна и хордой, учитывающей минимальное расстояние от места стояния автосамосвала в зоне разгрузки драглайна до нижней бровки уступа – C_2 . Причем радиус R_{rmax} наибольшего места стояния транспортного средства определяется паспортным наибольшим радиусом разгрузки драглайна, а радиус R_{rmin} наименьшего места стояния транспортного средства определяется минимальным расстоянием от оси ближайшей автодороги до нижней бровки уступа стояния ВПД – $C_2 = Ш + 3$.

При $H_y + H_{Bmin} < H_0$ расстояние между осями автодорог – E определяется соотношением

$$E = R_{pmax} - (H_3 \operatorname{ctg} \alpha + C_2 + r), \text{ м} \quad (7)$$

Здесь H_3 – понижение уровня транспортного горизонта, м;

α – угол наклона забоя, рад.

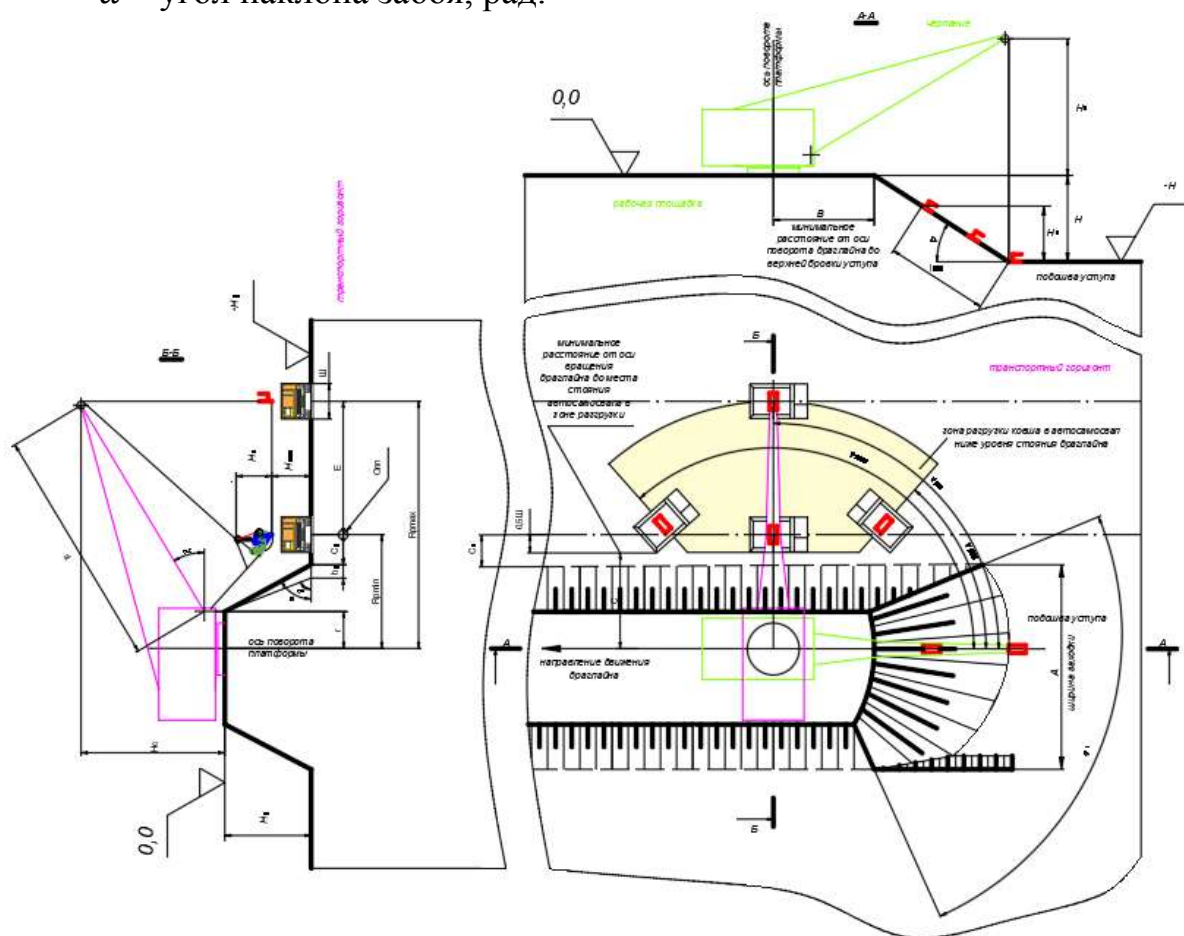


Рис. 3. Параметры отработки породного уступа выемочно-погрузочным драглайном с инновационным опрокидным ковшом с погрузкой горной массы в автосамосвал ниже уровня его стояния

Максимальная величина понижения уровня транспортного горизонта при однопутной схеме разгрузки ковша ВПД в автосамосвал определится из условия

$$H_{3max} \leq [R_{pmax} - (C_2 + r)] \operatorname{tg} \alpha, \text{ м} \quad (8)$$

При однопутной схеме разгрузки длина хорды в зоне разгрузки ковша определится по зависимости (3), а площадь зоны разгрузки ковша в автосамосвал ниже уровня стояния драглайна определится по зависимости (4).

Для ВПД на базе экскаватора ЭШ 10.70 при погрузке горной массы в автосамосвал БелАЗ-7547, ширина которого $\Pi=4,56$ м, сумма длин разгружаемого опрокидного ковша с упряжью – H_y и наименьшей высоты выгрузки – H_{vmin} составляет $H_y + H_{vmin} = 17,3 + 10,2 = 27,5$ м соответственно, как на наибольшем радиусе разгрузки $R_{pmax} = 66,5$ м, так и наименьшем радиусе разгрузки R_{pmin} , а наибольшая высота отвалообразова-

ния составляет $H_{\text{отв}} = 27,5$ м.

Таким образом, рассмотренные схемы отработки породного уступа выемочно-погрузочным драглайном с инновационным опрокидным ковшем, анализ зависимостей (1), (5), (7) и выполненные расчеты свидетельствуют, что:

- расстояние между осями автодорог не зависит от параметров черпания и от категории породы по трудности экскавации, а зависит только от схемы отработки породного уступа выемочно-погрузочным драглайном;

- наибольшая по площади зона разгрузки ковша в автосамосвал имеет место при разработке породного уступа ВПД ниже уровня его стояния (рис. 3), а наименьшая – выше уровня его стояния (рис. 2).

Расчеты выполнены при минимально допустимом расстоянии от верхней точки упряжи ковша до нижнего пояса стрелы, равном $H_2 = 3,0$ м, понижении уровня транспортного горизонта при однопутной схеме разгрузки ковша ВПД в автосамосвал не более $H_3 = 30$ м, а для двухпутной схемы разгрузки в автосамосвал не более $H_3 = 12,5$ м для наибольшей глубины копания $H = 35$ м и при $\varphi_{\text{пmax}} - \varphi_{\text{пmin}} = 0,5\pi$ рад, радиусе вращения оси пят стрелы $r = 4,99$ м, высоте оси пят стрелы над уровнем подошвы уступа $h_{\text{п}} = 2,15$ м и угле наклона забоя $\alpha = \pi/6$ рад [9, 10].

Список литературы

1. Типовые технологические схемы ведения горных работ на угольных разрезах. НИИОГР, М., «Недра», 1982. 405 с.
2. Трубецкой К.Н., Сидоренко И.А., Домбровский А.Н., Котровский М.Н. Кранлайн: актуальная задача создания нового типа экскаватора для разработки месторождений высокими уступами по транспортной системе // Горная промышленность. – 2008. – №4 (80). – С. 40-49.
3. Сидоренко И.А., Котровский И.А. Кранлайны – горногеологические и технологические предпосылки эффективного применения // Горная промышленность. – 2005. – №4 (59). – С. 54-59.
4. Трубецкой К.Н., Рыльникова М.В. Состояние и перспективы развития открытых горных работ в XXI веке // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – №S1–1. – С. 21-32.
5. Клементьева И.Н., Кузиев Д.А. Выемочно-погрузочный драглайн с ковшом инновационной конструкции // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – №7. – С. 149-157. – DOI: 10.25018/0236-1493-2019-07-0-149-157.
6. Клементьева И.Н. Новое техническое решение рабочего органа выемочно-погрузочного драглайна // Сборник материалов 14 международной научной школы молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых». – М.: ИПКОН РАН, 2019. – С. 280-283.
7. Патент №2802772 РФ. Выемочно-погрузочный драглайн / Куулар О.О., Клементьева И.Н. – Заявка №2022112155/03 от 04.05.2022; опубл. 01.09.2023, Бюл. №25.
8. Percy H. Hill The science of engineering design. – New York: HOLT, RINEHART and WINSTON, Inc. 1970. – 262 pp
9. Оборудование для механизации производственных процессов на карьерах. Под ред. В.С. Виноградова. М., «Недра», 1974, с. 376
10. Подэрни Р. Ю. Механическое оборудование карьеров: Учебник для вузов. - 8-ое изд., перераб. и доп. – М.: Издательство «Майнинг Медиа Групп» 2013. – 594 с.

УДК 622.212

ИННОВАЦИИ В КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМАХ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ОДНОКОВШОВЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

Абраров Р. Р.¹, аспирант, Иванов И.Ю.¹, доцент, к.т.н.,

Комиссаров А. П.^{1,2}, проф., д.т.н., Маслеников О.А.¹, аспирант

¹ ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ

Рассмотрены инновационные технические решения конструктивных схем рабочего оборудования карьерного экскаватора (стержневое рабочее оборудование) и гидравлического экскаватора (универсальное рабочее оборудование, рабочее оборудование с замыканием рабочих нагрузок), защищенные патентами РФ. Выполнена оценка технико-экономической эффективности применения новых схем рабочего оборудования одноковшовых экскаваторов.

Ключевые слова: одноковшовые экскаваторы, рабочее оборудование, конструктивные схемы, инновационные технические решения.

Основным базовым элементом одноковшового экскаватора является рабочее оборудование, определяющее конструктивную схему экскаватора и, в целом, технико-экономические показатели функционирования оборудования. Разработка инновационных схем рабочего оборудования на более совершенных конструктивных принципах позволит повысить эффективность функционирования одноковшовых экскаваторов.

Целью работы является – совершенствование конструктивных схем рабочего оборудования одноковшовых экскаваторов.

Основным элементом рабочего оборудования карьерных экскаваторов является стрела, которая предназначена для передачи усилия подъема от подъемной лебедки к ковшу. При этом, как показывает опыт эксплуатации карьерных экскаваторов [1-4], эффективность процесса экскавации существенно снижается ввиду противодействия главных механизмов, т.е. усилие подъема направлено в сторону экскаватора (подъемной лебедки), а усилие напора – в сторону обрабатываемого забоя.

В работе [5] разработана схема стержневого рабочего оборудования (без стрелы), состоящего из рукояти с ковшом, напорной балки, рамы и тяги. Использование в качестве основного опорного элемента рабочего оборудования рамы вместо стрелы позволит уменьшить массу рабочего оборудования и, соответственно, момент инерции поворотной части экскаватора, а также момент опрокидывающих сил, действующих на экскаватор.

При оснащении экскаватора стержневым рабочим оборудованием главными механизмами являются два аналогичных механизма – механизм напорный и механизм перемещения напорной балки, что позволит стабилизировать скорости рабочих движений ковша и повысить эффективность функционирования экскаватора.

В конечном счете, применение стержневого рабочего оборудования, отличающегося простотой конструктивного исполнения и пониженной металлоемкостью, позволит повысить выемочную функцию экскаватора (объем экскавируемой горной массы с одного места стояния экскаватора)

за счет повышения устойчивости экскаватора и увеличения максимального радиуса копания.

Рабочее оборудование гидравлических экскаваторов производится в двух исполнениях – прямая (эг) и обратная (эго) лопаты, различающиеся способом разработки горных пород – верхняя и нижняя (ниже уровня стояния экскаватора) выемка.

Разработано техническое решение по универсальному рабочему оборудованию [6]. Универсальное рабочее оборудование (рис. 1) включает стрелу, рукоять и ковш, соединённые шарнирами последовательно. Ковш универсального рабочего оборудования (рис. 2) состоит из следующих элементов: двух боковых стенок, подвижной стенки и днища, оснащенного двумя режущими кромками на торцах днища. На боковых стенках установлены упоры, ограничивающие перемещение подвижной стенки.

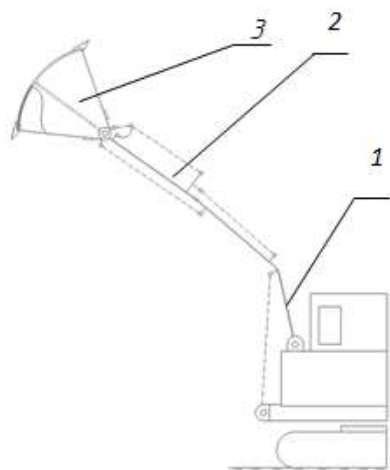


Рис. 1. Универсальное рабочее оборудование гидравлического экскаватора
1 – стрела, 2 – рукоять, 3 – ковш

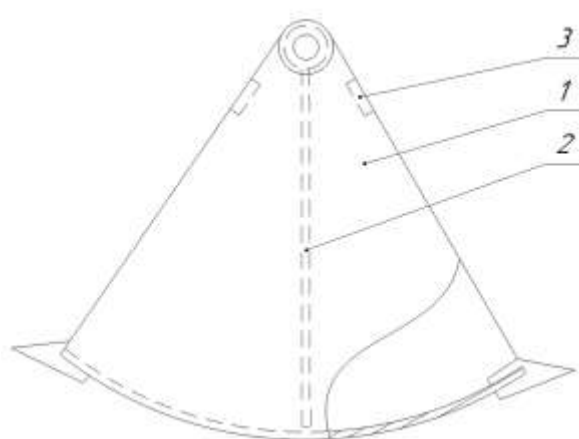


Рис. 2. Ковш универсального рабочего оборудования
1 – ковш, 2 – поворотная стенка, 3 – упор

Ковш универсального рабочего оборудования отличается увеличенной длиной днища, что обеспечивает эффективное заполнение ковша и более благоприятные условия разгрузки ковша в транспортное средство (плавность разгрузки и снижение высоты разгрузки). При разгрузке ковша подвижная стенка опускается и воздействует на породу, что способствует быстрому опорожнению ковша.

В состав главных механизмов экскаватора, предназначенных для получения рабочих движений ковша, входят следующие механизмы: механизм поворота стрелы, механизм поворота рукояти и два механизма поворота ковша (прямой и обратной лопат).

Изменение режима функционирования экскаватора (прямая или обратная лопаты) производится за счет отключения неработающего механизма поворота ковша (соответственно обратной или прямой лопаты).

Применение гидравлического экскаватора с универсальным рабочим оборудованием позволит сократить количество транспортных горизонтов за счет увеличения высоты обрабатываемых уступов (при отработке уступа

как выше уровня стояния экскаватора, так и ниже) и, в конечном счете, уменьшить объем горных работ.

Универсальное рабочее оборудование гидравлического экскаватора обеспечивает расширение области применения экскаватора и повышает эффективность работы экскаватора за счет увеличения размеров рабочей зоны.

Кардинальное решение проблемы повышения технического уровня экскавационного оборудования может быть достигнуто за счет изменения силовой схемы рабочего оборудования гидравлического экскаватора. Силовая схема машины является рациональной, если рабочие (внешние) нагрузки замыкаются на относительно небольшом участке элементами, работающими предпочтительно на растяжение или сжатие.

Разработано принципиально новое техническое решение рабочего оборудования [7], отличающееся тем, что рабочий орган выполнен в виде двух оппозитно расположенных ковшей, соединенных посредством замыкающего устройства в виде двух гидроцилиндров (рис. 2). Рабочее оборудование гидравлического экскаватора с замыканием рабочих нагрузок позволит реализовать новую технологию выемочных работ – захват горной массы, объем которой соответствует вместимости рабочего органа, что позволит сократить длительность цикла экскавации.

В результате рассмотрены инновационные технические решения по рабочему оборудованию карьерных и гидравлических экскаваторов. Внедрение принципиально новых конструктивных схем рабочего оборудования позволит повысить технический уровень одноковшовых экскаваторов.

Список литературы

1. Вэблер Д. Сопоставительный анализ карьерного погрузочного оборудования // Горный журнал. 1995. № 12. С. 5-8.
2. Комиссаров А.П., Саитов В.И., Скобелев Л.С., Суслов Н.М. Повышение технического уровня выемочно-погрузочного оборудования // Известия вузов. Горный журнал. 1992. № 3. С. 86-89.
3. Подэрни Р.Ю. Сравнительный анализ гидравлических и механических экскаваторов с прямой лопатой / Р.Ю.Подэрни, П. Булес // Горный журнал. 2015. № 1.С. 55-61.
4. Слесарев Б.В., Булес П. Исследование условий и параметров экскавации мощных карьерных экскаваторов // Материалы конференции «Машины и оборудование для открытых горных работ». В рамках 19-й Международной выставки «Горное оборудование, добыча и обогащение руд и минералов». 21 апреля 2015, Москва, С. 3-4.
5. Комиссаров А.П., Лагунова Ю.А., Лукашук О.А., Шестаков В.С. Экскаватор «Горный». Патент на полезную модель RU 178976 U1, 24.04.2018.
6. Кожушко Г.Г., Комиссаров А.П., Шестаков В.С. Рабочее оборудование экскаватора. Патент на полезную модель RU 110389 U1, 20.11.2011.
7. Гафурьянов Р.Г., Иванов И.Ю., Комиссаров А.П. Рабочее оборудование экскаватора. Патент на полезную модель RU 92033 U1, 10.03.2010.

УДК 629.3.017

ОБЗОР ИНЕРЦИОННЫХ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ ОДНООСНЫХ АВТОТРАКТОРНЫХ ПРИЦЕПОВ

Кузнецов В.В., ст. преп., Строганов Ю.Н., канд. техн. наук, доцент
ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,

Представлен обзор инерционных тормозных систем одноосных автотракторных прицепов. Сделан вывод, что развитие инерционных тормозных систем как одно из направлений повышения безопасности движения.

Ключевые слова. Инерционная тормозная система, торможение автопоезда, обзор.

REVIEW OF INERTIA BRAKING SYSTEMS OF SINGLE-AXLE AUTO-TRACTOR TRAILERS

Kuznetsov V.V., Stroganov Yu.N.

The article presents an overview of inertial braking systems of single-axle autotractor trailers. It is concluded that the development of inertial braking systems as one of the directions for improving traffic safety.

Keywords. Inertial braking system, braking of a road train, overview.

История появления и развития инерционных тормозных систем (ИТС) начинается с 1950-х годов, подтверждение тому первые зарегистрированные патенты в базах данных, таких как «USPTO».

Принцип действия инерционной тормозной системы заключается в использовании силы инерции, возникающей на сцепном устройстве тягача, равной произведению массы прицепа с грузом на ускорение (в нашем случае это замедление) [1].

$$F_{\text{и}} = m_{\text{пр+гр}} * g,$$

где: $F_{\text{и}}$ – сила инерции прицепа с грузом; $m_{\text{пр+гр}}$ – масса прицепа с грузом; g – ускорение (замедление) прицепа с грузом.

Рассмотрим принцип работы ИТС на простейшей схеме (рис. 1).

С началом торможения, прицеп по инерции продолжая движение начинает оказывать давление на сцепное устройство тягача, то в свою очередь имея жесткую связь с подвижной частью дышла прицепа, воздействует на поворотный рычаг, от которого усилие через тормозной привод передается на колесный тормоз. Чем выше ускорение (замедление), тем больше тормозное усилие передается на колесный тормоз, и как только прекращается давление на сцепное устройство тягача, торможение прицепа прекращается. Основные элементы из которых состоит ИТС это: тормоз наката, тормозной привод и колесный тормоз (рис. 1).

ИТС бывают двух видов: механические и гидравлические.

Механические системы в свою очередь могут быть рычажными или тросовыми, они дешевые и простые, однако, за ними требуется постоянный уход, так как приводы системы не герметичны, их нужно постоянно очищать и проверять работоспособность.

Тросовая механическая тормозная система является наиболее простой, но при этом менее надежной.

<i>Рис. 1. Схема работы инерционной тормозной системы</i> 1 – сцепное устройство тягача, 2 – тормоз наката, 3 – подвижная часть дышла прицепа, 4 – корпус дышла прицепа, 5 – колесный тормоз, 6 – тормозной привод, 7 – поворотный рычаг.	<i>Рис. 2 Тормоз наката</i> 1 – корпус, 2 – шток (внутри корпуса), 3 – резиновая гофра, 4 – замковое устройство, 5 – трос аварийной тормозной системы, 6 – рычаг стояночного тормоза, 7 – передаточный рычаг

Механическая рычажная тормозная система по отношению к тросовой является более надежной. В механических ИТС стоит рассмотреть более детально тормоз наката и тормозной привод.

Тормоз наката является основным элементом, преобразующим энергию инерции в торможение (рис. 2).

Тормозной привод (рис. 3) представляет собой винтовую шпильку из стали между передаточным рычагом и уравнивателями тросов.

В гидравлической ИТС принцип действия аналогичен механической, за исключением того, что усилие от тормоза наката к колесным тормозам передается при помощи жидкости, используя её свойство не сжимаемости (рис. 4).

<i>Рис. 3 Тормозной привод</i> 1 – тросы, 2 – уравниватель, 3 - винтовая шпилька.	<i>Рис. 4 Схема гидравлической инерционной тормозной системы</i> 1 – подвижная часть дышла прицепа, 2 - поворотный рычаг, 3 – рабочий тормозной цилиндр, 4 – колесный тормоз, 5 - главный тормозной цилиндр.

Гидравлические системы в сравнении с механическими более надежны, долговечны, так как они герметичны и менее подвержены внешним воздействиям [2].

ИТС включают: рабочую тормозную систему, стояночную тормозную систему и аварийную тормозную систему.

За рубежом производителями инерционных тормозных систем являются: «AL-KO» (Германия), «Knott» (Германия), «Hitchcocks» (Великобритании), «Brembo» (Италия), «SACHS» (Германия), «Dexter Axle» (США) [3].

Также имеются отечественные производители инерционных тормозных систем такие как: **«КамАЗ» (Набережные Челны), группа компаний «Тормоз» (Тольятти), завод «Автокомпонент» (Тольятти), Московский завод «Тормоз» (Москва).**

Вывод: обзор и анализ имеющихся ИТС одноосных автотракторных прицепов показал, что данные тормозные системы еще недостаточно широко применяются в конструкциях одноосных автотракторных прицепов как за рубежом, так и в России. Наиболее надежные и эффективные это инерционные тормозные системы с гидравлическим приводом. Значительно снижают нагрузку на тормозную систему тягача, сокращают тормозной путь и повышают безопасность дорожного движения.

Существенным недостатком ИТС является затрудненное маневрирование автопоезда при движении задним ходом, так как при этом возникает подтормаживание прицепа, препятствующее движению.

Список литературы

1. Ишлинский А. Ю. Классическая механика и силы инерции. — Изд. 2. — М.: URSS, 2018. — 320 с. — ISBN 978-5-9710-5075-9.
2. Железнов, Е. И. Оценка тормозных свойств малотоннажного автопоезда / Е. И. Железнов, А. Л. Поротиков, Р. Е. Железнов. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2017. — № 15 (149). — С. 51-56. — URL: <https://moluch.ru/archive/149/42237/> (дата обращения: 12.02.2025).
3. АО «Курганские прицепы» Тормозная система легковых прицепов. [Электронный ресурс]. - Режим доступа URL: <https://pricep45.ru/articles/questions/ustroystvo-pritsepa/tormoznaya-sistema-legkovykh-pritsepov/>. (Дата обращения 10.02.2025).

УДК 622.6-83

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПРОХОДЧЕСКО-ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ ПРИ ПОДРУБКЕ КАЛИЙНЫХ ПЛАСТОВ ПО ВЫСОТЕ

Куоза В. Д.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь

Представлены результаты исследования работы проходческо-очистных комбайнов в режиме подрубки пласта по высоте. Показана математическая модель определения нагруженного планетарно-дискового органа и ее анализ. Приведены результаты экспериментальных исследований комбайна в реальных условиях эксплуатации. Представлена возможность снижения проскальзывания гусениц за счет изменения угла наклона исполнительного органа

Ключевые слова: Проходческо-очистной комбайн, Урал-20Р, режим подрубки, математическая модель.

ENHANCING THE EFFICIENCY OF ROADHEADERS IN CUTTING POTASH SEAMS BY HEIGHT

Kuoza V.D.

The article presents the results of a study on the operation of a roadheaders in the mode of cutting the seam by height. It demonstrates a mathematical model for determining the load on the planetary-disk body and provides its analysis. The results of experimental testing of the miner under actual operating conditions are presented, along with the potential for reducing track slippage by altering the angle of inclination of the actuating component.

Keywords: Borer miner, Ural-20R, undercutting mode, mathematical model.

Камерная система разработки Верхнекамского месторождения калийных солей предполагает дополнительные ходы комбайна по высоте массива с целью полноценного извлечения продуктивных пластов. В литературе многократно отмечалось, что работа проходческо-очистного комбайна дополнительным ходом по высоте сопряжена значительными динамическими нагрузками на приводные системы основных породоразрушающих органов, отмечалась необходимость проведения исследований такого режима работы [1].

Отсутствие теоретической базы и малое количество испытаний проходческо-очистных комбайнов в режиме подрубки пласта определило следующие задачи исследований для повышений эффективности работы машин:

- 1) математическое описание взаимодействия планетарно-дискового исполнительного органа с горным массивом для определения нагрузок, действующих на приводную систему;
- 2) определение параметров работы проходческо-очистного комбайна в режиме подрубки пласта с целью снижения динамических нагрузок на приводные системы исполнительных органов;
- 3) проведение испытаний проходческо-очистных комбайнов в реальных условиях эксплуатации;
- 4) повышение эффективности работы комбайна в режиме подрубки пласта по высоте в условиях изменения угла наклона выработки.

Проходческо-очистные комбайны, используемые для добычи калийной руды на Верхнекамском месторождении, оснащены сдвоенным планетарно-дисковым исполнительным органом, каждый из которых содержит по две пары резцовых дисков.

При математическом описании взаимодействия породоразрушающего органа комбайна и калийного массива учитывается угол поворота планетарного органа и высота разрушаемого пласта. Это позволяет определять количество резцов, контактирующих с горным массивом и нагрузку на приводную систему исполнительного органа [2]. В разработанной математической модели учтена особенность зоны пересечения двух планетарных органов, что обуславливает меньшее количество контактирующих резцов и сказывается на нагруженности приводов. В качестве параметра нагрузки на электродвигатель приводной системы принят крутящий момент. Изменение крутящего моменты от количества оборотов (произведение времени t к переносной частоте вращения исполнительного органа T) исполнительного органа и высоты подрубки пласта представлен на рис. 1.

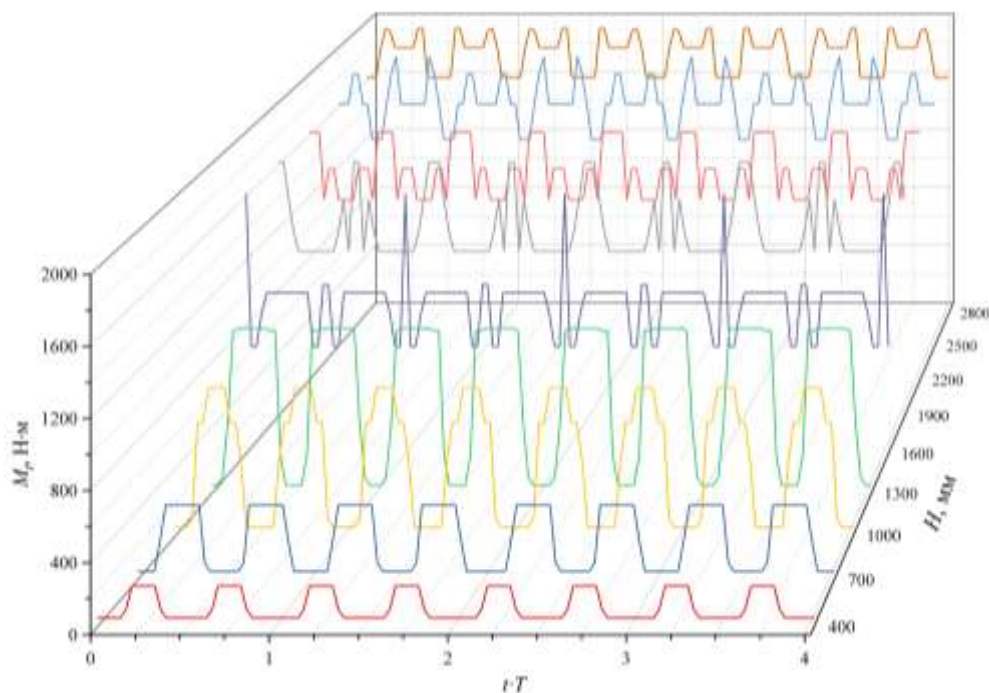


Рис. 1. Изменение крутящего момента M_i от количества оборотов исполнительного органа $t \cdot T$ и высоты подрубки H

В качестве параметра, влияющего на работу комбайна и динамические нагрузки на приводную систему исполнительного органа принята высота подрубки пласта. Этот параметр изменяется в широком диапазоне и его можно подбирать при отработке калийных пластов в несколько ходов комбайна. Для определения рационального диапазона высоты подрубки пласта выполнен анализ по следующим критериям: коэффициент колебания нагрузки, δ_j ; удельный расход энергии, H_w ; средний момент резания, $M_{ср}$; скорость изменения момента резания, v_m . Зависимости этих критериев от высоты подрубки пласта проведены на рис. 2-4.

Анализ результатов показал, что диапазон высоты забоя $H \in [1300 \text{ мм}; 1600 \text{ мм}]$ характеризуется высокими значениями скорости изменения момента и коэффициента колебания нагрузки при ускоренном увеличении средних значений крутящего момента. При этом высота забоя до 400 мм является экономически неэффективной. Таким образом рациональным диапазоном высоты пласта является $H \in [400 \text{ мм}; 1300 \text{ мм}] \cup [1900 \text{ мм}; 2800 \text{ мм}]$.

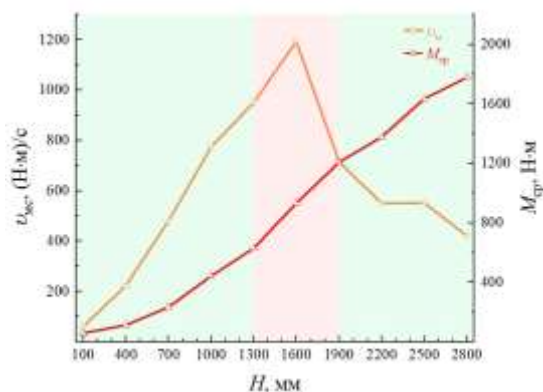


Рис. 2 Скорость изменения и среднее значение момента резания от высоты подрубki

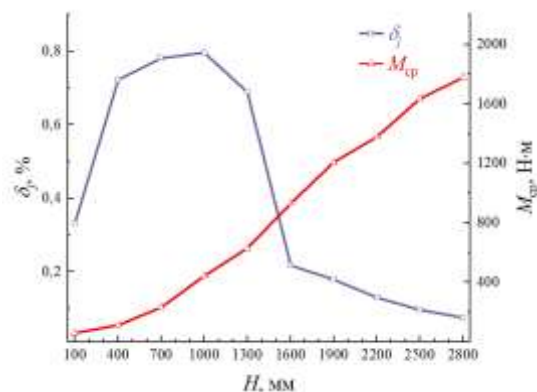


Рис. 3 Коэффициент колебания нагрузки и среднее значение момента резания от высоты подрубki

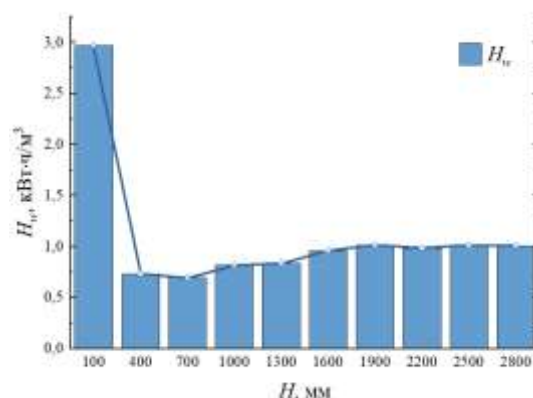


Рис. 4. Удельный расход энергии от высоты подрубki

Для верификации математической модели проведены испытания проходческого-очистного комбайна Урал-20Р в реальных условиях эксплуатации. Режим работы изменялся с постепенным изменением высоты подрубki от 400 мм до 1600 мм. Сравнительный анализ результатов теоретических расчетов и экспериментальных значений показал максимальное отклонение расчетных параметров от измеренных на 10 %. Это подтверждает достоверность разработанной теоретической модели.

Работа планетарно-дискового органа при подрубке пласта также влияет на распределение сил реакции забоя. При работе комбайна глухим (полным) забоем система планетарного органа является уравновешенной, так как разнонаправленно вращающиеся резцовые диски одинаково взаимодействуют с горным массивом. В режиме подрубki пласта реакция забоя воздействует только при подрубке пласта (обработке уступа) дисковыми резцами. Это приводит к увеличению сил, действующих на отрыв гусе-

ничного органа комбайна от почвы выработки. Причем сила реакции забоя зависит от высоты подрубки пласта. Аналогичное влияние оказывает угол наклона выработки при движении комбайна «в гору», увеличение которого снижает тяговую способность гусеницы. Такая ситуация приводит к проскальзыванию гусеничного органа, снижению напорных усилий и производительности комбайна.

Для повышения напорных усилий гусеничного органа комбайна и расширения области его применения, предложено изменять угол наклона исполнительного органа комбайна [3], тогда часть усилий реакции забоя будет действовать на прижатие гусениц комбайна.

Выводы. Разработана математическая модель определения нагрузок, действующих на приводную систему исполнительного органа комбайна при подрубке пласта. Анализ результатов расчетов показал, что рациональным диапазоном высоты подрубки пласта является $H \in [400 \text{ мм}; 1300 \text{ мм}] \cup [1900 \text{ мм}; 2800 \text{ мм}]$. Испытания проходческо-очистных комбайнов Урал-20Р в реальных условиях эксплуатации показали достоверность математической модели. Повышение эффективности работы комбайна при подрубке пласта по высоте путем снижения проскальзывания гусеницы возможно за счет изменения угла наклона исполнительного органа комбайна.

Список литературы

1. 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. – Екатеринбург, 2018. – 164 с.
2. Трифанов Г.Д., Куоза В.Д. Взаимодействие планетарно-дискового органа горного комбайна с массивом в режиме подрубки пласта // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2023. № 6. С. 50-59.
3. Пат. RU2811708 С1 МПК Е 21 С27/24. Исполнительный орган проходческо-очистного комбайна / В.Д. Куоза. № 2023121329; заявл. 15.08.2023; опубл. 16.01.2024. Бюл. № 2.

УДК. 621.86:182.7

ОСОБЕННОСТИ ЭКСКАВАТОРОВ ЗАРУБЕЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

М.Д. Ларионов, магистрант, Логиновских Д.С., аспирант,
Лагунова Ю.А., проф., д.т.н.

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

В статье проведен сравнительный анализ эксплуатационных характеристик различных моделей экскаваторов, применяемых в строительной и горнодобывающей промышленности. Рассмотрены ключевые параметры, такие как мощность, грузоподъемность, топливная эффективность. Представлены сравнительные таблицы и диаграмма, позволяющие определить оптимальную модель экскаватора в зависимости от условий эксплуатации. Дана оценка опорно-поворотного механизма экскаваторов. Сделаны выводы о целесообразности использования определенных моделей техники с учетом их эффективности и экономической выгоды.

Ключевые слова: Экскаваторы, эксплуатационные характеристики, сравнительный анализ, производительность, топливная эффективность.

FEATURES OF FOREIGN-MADE EXCAVATORS

M.D. Larionov, D.S. Loginovskikh, Yu.A. Lagunova,

The article provides a comparative analysis of the performance characteristics of various excavator models used in the construction and mining industries. Key parameters such as power, lifting capacity, and fuel efficiency are considered. Comparative tables and a diagram are presented to help determine the optimal excavator model depending on operating conditions. An assessment of the excavator slewing mechanism is given. Conclusions are made on the feasibility of using certain equipment models, taking into account their efficiency and economic benefits.

Keywords: Excavators, performance characteristics, comparative analysis, productivity, fuel efficiency.

Введение. Экскаваторы подвергаются интенсивным механическим воздействиям в условиях сложных и агрессивных сред. Они работают в экстремальных условиях: высокие нагрузки, абразивность, температура, влажность и химическое воздействие на детали [1]. Именно поэтому износостойкость материалов для рабочих органов экскаваторов является одной из ключевых характеристик, определяющих их долговечность и эффективность.

Современные экскаваторы работают под высокими нагрузками и поэтому требуют использования материалов с достаточной износостойкостью, что приводит к проблемам выбора необходимых показателей эффективности в определенных условиях эксплуатации [2, 3].

Основная причина этого заключается в современной тенденции стремительного развития технологий, где для повышения износостойкости начинают исследовать и применять новые материалы для рабочих органов экскаваторов, различные технологические методы обработки материалов, использование наноматериалов с уникальными свойствами.

Сравнительный анализ проводился среди экскаваторов иностранного производства, имеющих различные эксплуатационные характеристики и материалы отдельных рабочих органов [4- 9, 11]. Особое внимание уделено опорно-поворотному устройству.

В ходе проведения анализа составлена сравнительная таблица 1, моделей экскаваторов

Таблица 1. Сравнительная таблица характеристик экскаваторов

Характеристика/модель	<i>Liebherr R 9800</i>	<i>Caterpillar CAT 6060</i>	<i>Hitachi ZX 470LC-6</i>	<i>Komatsu PC400LC-8</i>	<i>SANY SY365C</i>
Мощность двигателя (кВт/л.с.)	1500 кВт / 2000 л.с.	1000 кВт / 1341 л.с.	270 кВт / 362 л.с.	280 кВт / 375 л.с.	250 кВт / 335 л.с.
Грузоподъемность ковша (кг)	40,000 кг	36,000 кг	25,000 кг	20,000 кг	18,000 кг
Макс. рабочая глубина (м)	8.5 м	7.2 м	7.5 м	6.5 м	6.3 м
Макс. радиус черпания (м)	16 м	15 м	14.5 м	14 м	13.5 м
Производительность (м³/ч)	1000 м³/ч	800 м³/ч	600 м³/ч	500 м³/ч	450 м³/ч
Тип трансмиссии	Гидростатическая	Механическая	Гидростатическая	Гидростатическая	Гидростатическая
Топливная эффективность (л/ч)	500 л/ч	450 л/ч	250 л/ч	230 л/ч	210 л/ч
Масса экскаватора (кг)	800,000 кг	600,000 кг	45,000 кг	40,000 кг	36,000 кг
Уровень вибраций и шума (дБ)	75 дБ	76 дБ	74 дБ	75 дБ	74 дБ

Для построения графика разделим работу экскаваторов на типы, представленных в таблице 2. Для этого примем следующие условия эксплуатации для каждого экскаватора: легкие условия – строительные работы, не слишком абразивные материалы (например, песок или мягкие горные породы); средние условия – работы в угольных и каменных карьерах, с умеренно абразивными материалами; тяжелые условия – горные работы, карьеры с твердыми, абразивными породами.

Таблица 2. Типы условий эксплуатации экскаваторов

Экскаватор/условия	<i>Легкие</i>	<i>Средние</i>	<i>Тяжелые</i>
Liebherr	12	10	8
Caterpillar	10	8	7
Hitachi	10	8	7
Komatsu	9	7	7
SANY	8	7	7

На основании данных из таблицы составлен график зависимости продолжительности работы экскаваторов от условий эксплуатации представленный на рис.1

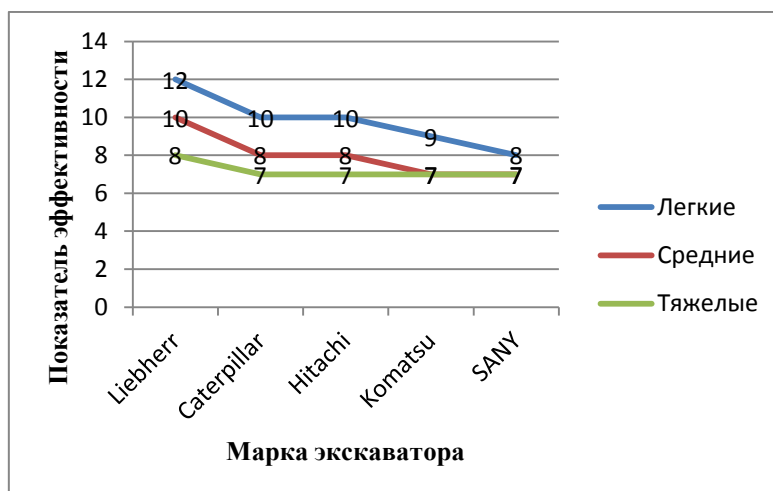


Рис. 1. Зависимость продолжительности работы от условий эксплуатации

Анализируя график зависимости можно сделать вывод, что выбор модели экскаватора зависит от конкретных условий эксплуатации, таких как размер карьера, физико-механические свойства породы, глубина, высота, радиусы черпания и разгрузки.

Для крупных карьеров и тяжелых условий эксплуатации, где необходимы высокая мощность, большая производительность и высокая грузоподъемность, идеальными кандидатами будут экскаваторы Liebherr R 9800 и Caterpillar CAT 6060. Они обеспечат наибольшую производительность и смогут работать с большим объемом материала.

Для умеренно сложных условий, где важны топливная эффективность и сбалансированные характеристики, могут быть использованы Hitachi ZX 470LC-6 или Komatsu PC400LC-8. Они предлагают хорошее сочетание производительности и экономии.

Для строительных и менее интенсивных работ, где важна цена и экономия на эксплуатации, лучше всего подойдет SANY SY365C. Он имеет низкий расход топлива, хорошую маневренность и приемлемую цену.

Кроме того, почти у всех зарубежных экскаваторов существуют проблемы с опорно-поворотным механизмом, особенно это касается машин типа XCMG. Механизм имеет низкую стойкость к ударным нагрузкам, что ограничивает его использование в сложных условиях. Загрязнение узла из-за недостаточной герметизации приводит к быстрому износу подшипников. Это снижает точность работы платформы и требует регулярного технического обслуживания, что увеличивает эксплуатационные расходы. Проблема особенно критична при работе на грунтах с высоким содержанием абразивных частиц. Ограниченность доступа к поворотному механизму усложняет техническое обслуживание. Ограниченная точность поворота платформы в условиях высокой нагрузки может снижать производитель-

ность. Это особенно заметно при использовании крупных моделей, где нагрузка на механизм максимальна.

Выводы:

Применение новых материалов в конструкциях экскаваторов положительно влияет на их характеристики, но только в допустимых условиях труда, следовательно, глубокое изучение особенностей отдельных моделей напрямую влияет на эффективность их функционирования в требуемых условиях работы. Внедрение инновационных решений, таких как электрификация, умные системы и улучшенные конструкции, станет ключевым фактором успеха на конкурентном рынке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соловьев, Ю. Н., Патоков, А. В. Износостойкость материалов и технологии их повышения. — М.: Машиностроение, 2015. — 320 с.
2. Горячкин, В. И. Материалы для горных машин: Износостойкость и эксплуатационные характеристики. — М.: Высшая школа, 2017. — 280 с.
3. Петров А.В., Смирнов В.Н. Тенденции развития рынка гидравлических экскаваторов / Машиностроение сегодня, 2021.
4. Brown T., Miller J. - Global Market Overview of Hydraulic Excavators / International Construction Equipment Journal, 2022.
5. Komatsu Ltd. - Official Product Catalog 2022.
6. Smith R., Jones K. - Technological Innovations in Excavators: A Comparative Study. / Heavy Machinery Review, 2021.
7. Volvo Construction Equipment - EC220E Excavator Specifications and Features. / Официальный сайт Volvo Construction Equipment.
8. Liebherr Group Technical Specifications and Material Information for Excavators.
9. Caterpillar Inc. Material Selection and Wear Resistance in Excavators.
10. Чернышов, В. Г., Губернский, С. В. Технологии повышения износостойкости рабочих органов горных машин. — Новосибирск: Наука, 2019. — 250 с.
11. Zhao, X., Zhang, Y., Wang, S. Wear and Tribological Properties of Materials for Mining Equipment.

УДК 622.2

ПОВЫШЕНИЕ ВРЕМЕНИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПРОХОДЧЕСКО-ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ КАЛИЙНЫХ РУДНИКОВ

Лосев¹ Д.А., аспирант, Шишлянников² Д.И., д.т.н., профессор

¹ АО «ВНИИ ГАЛУРГИИ» (г. Санкт-Петербург)

² ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (г. Пермь)

Представлены основные сведения о процессе добычи калийных руд механизированным способом. Показано, что эксплуатационная производительность проходческо-очистных комбайнов, входящих в состав механизированных комбайновых комплексов, с увеличением дальности транспортирования ограничивается производительностью доставочных машин. Обоснована актуальность задачи поиска решений по увеличению времени производительной работы проходческо-очистных комбайнов, проведен анализ способов повышения времени производительной работы проходческо-очистных комбайнов, предложены решения по увеличению эксплуатационной производительности механизированных комбайновых комплексов.

Ключевые слова: добыча калийной руды, механизированный комбайновый комплекс, проходческо-очистной комбайн, шахтный самоходный вагон, время производительной работы.

INCREASING THE PRODUCTIVE WORK TIME OF THE SINKING AND CLEANING COMBINES OF POTASH MINES

Losev D.A., Shishlyannikov D.I.

General information is given about the process of mining potash ores by a mechanized method. It is shown that the operational performance of tunneling and cleaning combines, which are part of mechanized combine complexes, is constrained by the performance of delivery machines with an increase in the transportation range. The relevance of the task of finding solutions to increase the productive work time of tunnel boring machines is substantiated, an analysis of ways to increase the productive work time of tunneling and cleaning combines is carried out, solutions to increase the operational productivity of mechanized combine complexes are proposed.

Keywords: potash ore mining, mechanized combine complex, tunnel boring machine, shuttle wagon, productive work time.

Добыча калийно-магниевых солей на рудниках России осуществляется с использованием камерной системы разработки с выемкой пласта на полную мощность с оставлением ленточных опорных целиков. Камерная система разработки предусматривает использование механизированных комбайновых комплексов (МКК), представляющих собой комплекс горных машин, в состав которого входят проходческо-очистной комбайн, бункер-перегрузатель и шахтный самоходный вагон (ШСВ) [1, 2].

Анализ фактических данных, полученных путем непрерывной регистрации нагрузок приводов комбайна «Урал-20Р», эксплуатируемого на руднике Верхнекамского месторождения калийных солей, позволил определить общее время работы комбайна, время его производительной работы, интервалы выполнения отдельных технологических операций. Значение коэффициента производительной работы за рассматриваемый период (26 суток) составило 0,29 [3], из чего следует, что процесс функционирования МКК характеризуется наличием внутренних резервов для увеличения их эксплуатационной производительности.

В настоящее время актуальной является задача поиска решений по повышению эффективности применения МКК калийных рудников по обеспечению максимальной эксплуатационной производительности.

При проходке каждой очистной камеры определяются три характерных участка работы проходческо-очистного комбайна (рис.1). Первый участок камеры L^I характеризуется непрерывной работой, где эксплуатационная производительность комбайна равна технической. На втором участке L^{II} комбайн работает с кратковременными возрастающими перерывами, связанными с необходимостью перегрузки руды из бункера-перегрузателя в ШСВ. На третьем участке L^{III} проходческо-очистной комбайн простаивает во время ожидания вагона и во время загрузки [4].

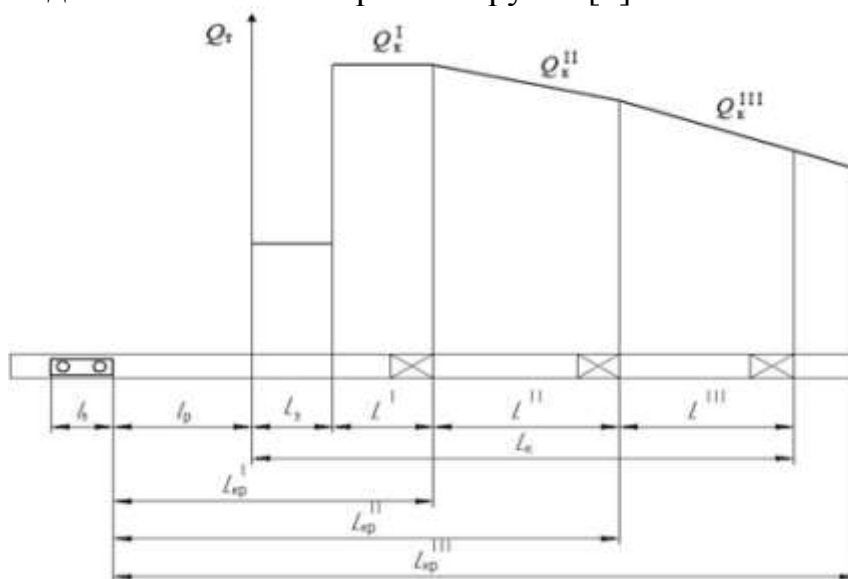


Рис. 1. График изменения эксплуатационной производительности механизированного комбайнового комплекса по длине очистной камеры

В процессе проходческо-очистных работ по мере увеличения длины камеры, увеличивается плечо доставки руды от забоя, влияние работы комбайна на производительность всего МКК снижается, и, при достижении критических расстояний доставки, приоритетно влияющими на нее становятся технические параметры шахтных самоходных вагонов: грузоподъемность, скорость движения и выполнения маневровых операций, время загрузки и разгрузки. Также на производительность оказывают влияние процессы выполнения вспомогательных операций, необходимых для работы механизированного комплекса: отгонка комбайна, крепление кровли выработок, выполнение ТО и устранение аварийных отказов.

Обеспечение заданной эксплуатационной производительности МКК по всей длине очистной камеры возможно посредством использования следующих технологических и технических решений:

- использование второго самоходного вагона в составе комплекса;
- применение в технологической цепочке МКК стационарных устройств устройств-перегрузателей;

- эксплуатация ШСВ на аккумуляторном приводе, с реализацией его работы на два механизированных комбайновых комплекса одновременно;
- использование передаточного конвейера, смонтированного в соседней отработанной камере для обеспечения непрерывной передачи руды от бункера-перегрузателя до рудоспускной скважины (рис. 2) [5];

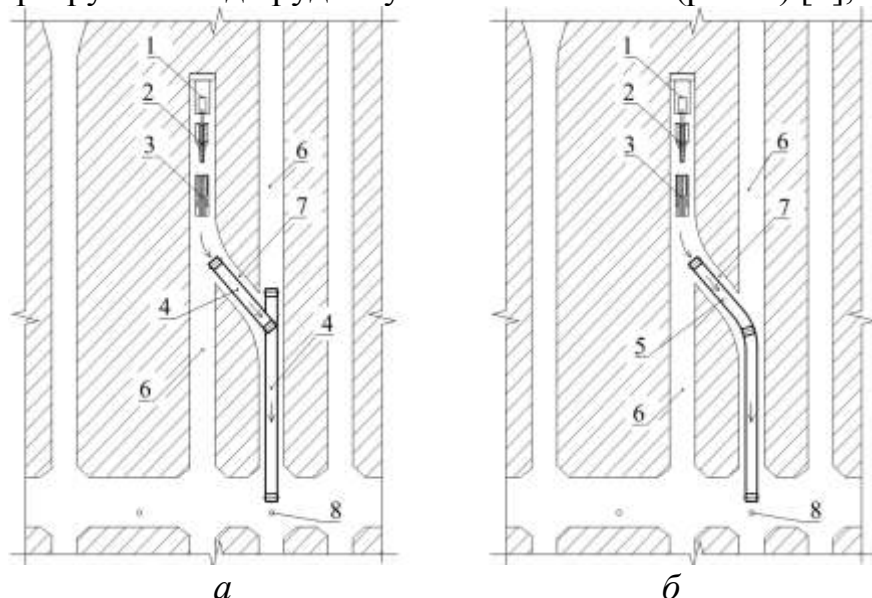


Рис. 2. Схема применения средств конвейерного транспорта для разгрузки шахтного самоходного вагона в пределах очистной камеры:

а – с использованием двух конвейеров; б – с использованием изгибающегося конвейера; 1 – проходческо-очистной комбайн; 2 – бункер-перегрузатель; 3 – самоходный вагон; 4 – конвейер; 5 – конвейер изгибающийся; 6 – очистная камера; 7 – межкамерная сбойка; 8 – рудоспускная скважина

- повышение скорости отгонки комбайна из очистной камеры путем применения конструктивных решений, позволяющих привести рукояти исполнительного органа в транспортное положение для исключения контакта режущих дисков со стенками выработки при обратном ходе (рис. 3) [6];

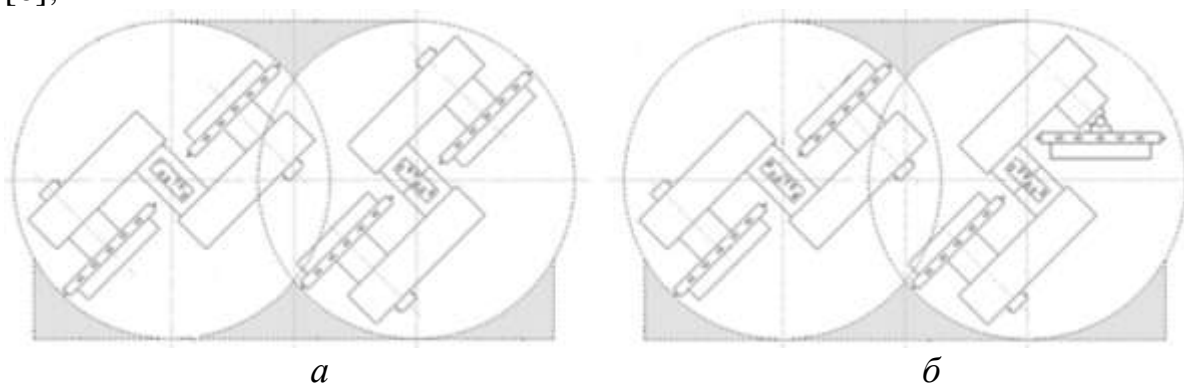


Рис.3. Схема сдвоенного планетарно-дискового исполнительного органа проходческо-очистного комбайна: *а – в рабочем положении; б – в транспортном положении*

С увеличением плеча доставки руды от забоя, поддержание производительности механизированного комбайнового комплекса на высоком

уровне достижимо не только технологически - путем введения нетиповых схем ведения работ по транспорту руды, но и технически, например, с помощью применения конструктивных решений, позволяющих ускорить процесс отгонки комбайна, увеличивая тем самым время его производительной работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Старков Л. И., Земсков А. Н., Кондрашев П. И. Развитие механизированной разработки калийных руд. – Пермь: ПГТУ, 2007. – 522 с.
2. Соловьев В. А. Разработка калийных месторождений: практикум / В. А. Соловьев, А. И. Секунцов. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013. – 265 с.
3. 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. – 163 с.
4. Методическое руководство по ведению горных работ на рудниках ОАО «Сильвинит» / ОАО «Галургия». – Новосибирск: Наука, 2011. – 487 с
5. Пат. RU 2817486 С1 МПК E21C41/20. Способ разработки пологих пластов калийных солей комбайновыми комплексами / Д. И. Шишлянников, Д. А. Ситников, А. В. Сенькин, Д. А. Лосев, И. Х. Тюбеев. № 2024102121; заявл. 29.01.2024; опубл. 16.04.2024. Бюл. № 14. – 7 с
6. Пат. RU 2828781 С1 СПК E21C27/24. Исполнительный орган проходческо-очистного комбайна / Д. И. Шишлянников, И. Х. Тюбеев, Д. А. Ситников, Д. С. Грибов, Д. А. Лосев. № 2019122555; заявл. 05.03.2024; опубл. 18.10.2024. Бюл. № 29. – 14 с

УДК 622.144

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕНТИЛЯТОРНЫХ УСТАНОВОК БОЛЬШОЙ БЫСТРОХОДНОСТИ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Макаров¹ В. Н., проф., д.т.н., Алексеев¹ М. А., студент, Макаров¹ Н. В., зав. каф.,
Молчанов² М. В., руководитель стратегического проекта горного направления,

¹Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

²АО «Уралмеханобр», г. Екатеринбург, Россия

Повышение эффективности охлаждения газа на компрессорных станциях является актуальной задачей, поскольку применяемые для интенсификации конвективного теплообмена вентиляторные установки большой быстроходности отличаются недостаточной энергоэффективностью. В статье приведены результаты экспериментальных исследований путей повышения энергоэффективности вентиляторных установок для аппаратов воздушного охлаждения за счет оптимизации параметров воздуховода, зазоров между лопатками рабочих колёс, втулкой и обечайкой корпуса вентилятора. Установлено, что для вентиляторных установок большой быстроходности определяющее значение имеют аэродинамические качества воздуховода, в том числе коллектора, кока и втулки, поскольку, в силу малой потенциальной энергии перемещаемого воздуха, аэродинамическое сопротивление элементов проточной части составляет значительную её долю.

Ключевые слова: вентиляторные установки, энергоэффективность, лопатки.

EXPERIMENTAL STUDIES OF WAYS TO IMPROVE THE ENERGY EFFICIENCY OF FAN INSTALLATIONS FOR AIR COOLING DEVICES

Makarov V. N., Alekseev M. A., Makarov N. V., Molchanov M. V.

The sustainable development of territories with active subsurface use is strongly linked to the solution of the tasks of increasing the efficiency of gas cooling at compressor stations of main gas pipelines and environmental safety, since the fan installations used to intensify convective heat exchange are characterized by insufficient energy efficiency. The article presents the results of experimental studies of ways to increase the energy efficiency of fan installations for air cooling devices by optimizing the parameters of the duct, the gaps between the blades of the impellers, the sleeve and the shell of the fan housing. It has been established that for high-speed fan installations, the aerodynamic qualities of the duct, including the collector, the coke and the sleeve, are of crucial importance, since, due to the low potential energy of the displaced air, the aerodynamic resistance of the elements of the flow part accounts for a significant proportion of it.

Keywords: fan installations, energy efficiency, blades.

Решена задача повышения энергоэффективности вентиляторных установок для АВО с ростом их удельной быстроходности путем совершенствования элементов проточной части.

Проведенные экспериментальные исследования вентиляторных установок с удельной быстроходностью в диапазоне от 100 до 500 и обобщение результатов исследований, приведенных в [1, 2], позволили получить формулу для расчёта относительного диаметра коллектора, обеспечивающего максимальную равномерность профиля скоростей на входе в рабочее колесо и минимум потерь энергии:

$$\bar{D}_k = \sqrt{k \left(1 - n_y^{-\frac{1}{2}} \right)}, \quad (1)$$

где $\bar{D}_k = D_k/D$ – относительный диаметр коллектора; D – диаметр рабочего колеса, м; D_k – диаметр коллектора вентилятора, м; $k = (1 - v^2)$ – степень поджатия потока на входе в коллектор; v – относительный диаметр втулки рабочего колеса (отношение диаметра втулки к диаметру колеса).

С учётом экспериментальных исследований, приведённых в [3, 4], формулу для расчёта относительной длины коллектора с учётом формулы (1) получим в виде:

$$\bar{l}_k = 0,5\sqrt{(\bar{D}_k - 1)(1 - \bar{D}_k + 4\bar{r}_k)}, \quad (2)$$

где $\bar{l}_k = l_k/D$ – относительная длина коллектора; l_k – длина коллектора, м; $\bar{r}_k$ – относительный радиус дуги окружности, по которой очерчен коллектор.

На рис. 1 приведены зависимости относительных диаметра $\bar{D}_k$ (– теория, $\Delta\Delta\Delta$ эксперимент) и длины коллектора $\bar{l}_k$ (--- теория, $\circ\circ\circ$ эксперимент) с коэффициентом детерминации $R^2 \geq 0,87$ от удельной быстроходности для разных значений относительного диаметра втулки v ; ξ_k – коэффициент динамического сопротивления, Ψ_v – коэффициент напора вентилятора.

Из анализа графика видно, что с увеличением удельной быстроходности непрерывно растут оптимальные значения диаметра и длины коллектора. Указанное обусловлено тем, что с увеличением быстроходности снижается удельная потенциальная энергия, сообщаемая рабочим колесом перемещаемому воздуху. В результате чего при прочих равных условиях растут относительные аэродинамические потери.

Из анализа графика видно, что с увеличением удельной быстроходности непрерывно растут оптимальные значения диаметра и длины коллектора. Указанное обусловлено тем, что с увеличением быстроходности снижается удельная потенциальная энергия, сообщаемая рабочим колесом перемещаемому воздуху. В результате чего при прочих равных условиях растут от

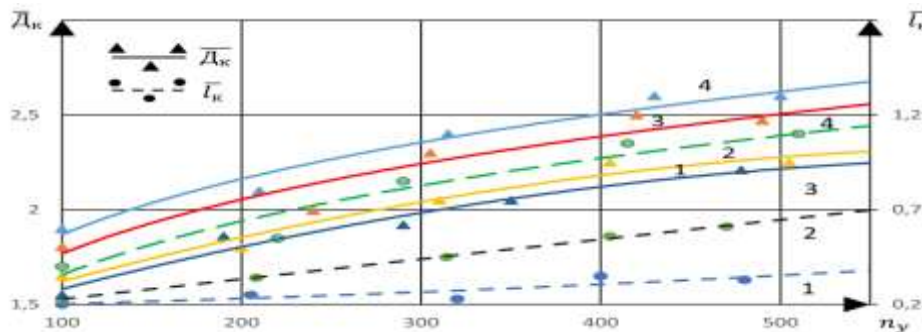


Рис. 1. Зависимость оптимальных относительных диаметра и длины коллектора $\bar{D}_k$ и $\bar{l}_k$ от удельной быстроходности вентиляторной установки при:

$$1 - v = 0,4; 2 - v = 0,35; 3 - v = 0,3; 4 - v = 0,25; \quad \bar{\xi}_k = \frac{\xi_k}{\Psi_v} = 0,07$$

Отсутствие коллектора и кока или их упрощенная конструкция снижает максимальный КПД вентилятора с удельной быстроходностью $n_y = 400$ на 18–19 %, в то время как для шахтных вентиляторов с удельной быстроходностью $n_y = 40$ снижение КПД не превышает 3 %.

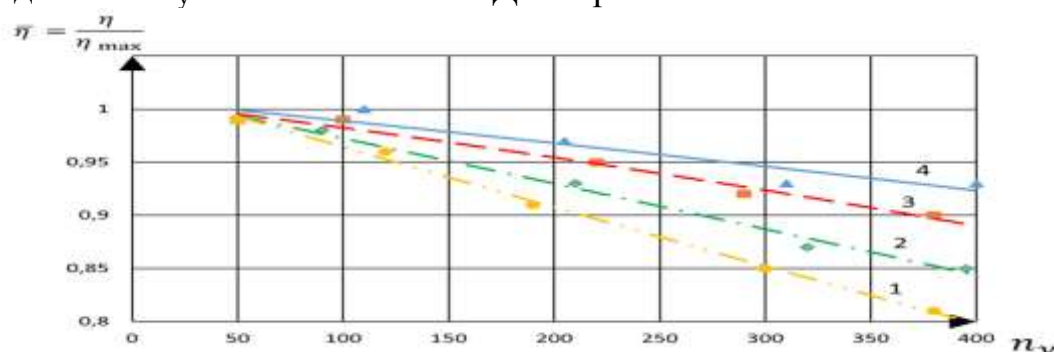


Рис. 2. Зависимость относительного КПД вентиляторной установки от удельной быстроходности: 1 — вентилятор с коком и коллектором; 2 — вентилятор с коком и без коллектора; 3 — вентилятор с коллектором и без кока; 4 — вентилятор без кока и без коллектора

Большое влияние на экономическую эффективность вентиляторных установок большой быстроходности оказывает кок в совокупности с коллектором. Отсутствие кока приводит к существенному уменьшению максимального КПД $\eta_{\max}$, а также КПД в области рабочих режимов с ростом значений удельной быстроходности.

На рис. 2 приведены результаты экспериментальных исследований вентиляторов разной быстроходности в компоновке с коком, коллектором и без них, при этом дисперсия коэффициентов регрессии $\sigma^2 \leq 0,22$ (---, -□-- □□-, □◇□ эксперимент; —, ΔΔΔ график регрессии).

На рис. 3 приведены результаты экспериментальных исследований зависимости относительного КПД вентиляторной установки от удельной быстроходности при разных значениях относительного диаметра коллектора и его длины, при этом дисперсия коэффициентов регрессии $\sigma^2 \leq 0,32$ (---, -□-, □◇□ эксперимент; —, ○○○ график регрессии). Из анализа рис. 3 видно, что уменьшение длины коллектора в 1,5 раза по отношению к его оптимальному значению снижает коэффициент полезного действия вентиляторной установки с удельной быстроходностью $n_y = 400$ на 8 % за счёт большей неравномерности поля скоростей, в то время как для вентиляторной установки с $n_y = 40$ — не более, чем на 3 %. Экспериментальные исследования влияния формы коллектора и кока на экономическую эффективность вентилятора показали, что оно тем существеннее, чем больше удельная быстроходность вентилятора. Наиболее совершенной формой коллектора по результатам расчётов и экспериментов можно признать ламинированный профиль в форме кривой Безье 4 порядка.

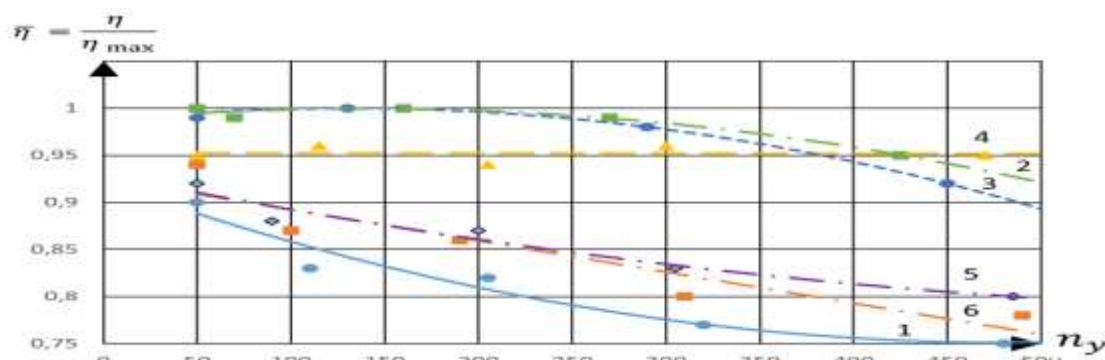


Рис. 3. Зависимость относительного КПД вентиляторной установки от удельной быстроходности при: 1 – $\bar{D}_k = 1$; 2 – $\bar{D}_k = 1,5$; 3 – $\bar{D}_k = 2,0$, $\bar{l}_k = 0,4$; 4 – $\bar{D}_k = 2,5$, $\bar{l}_k = 0,6$; 5 – $\bar{D}_k = 2,5$, $\bar{l}_k = 0,2$; конический коллектор 6 – $\bar{D}_k = 1,5$, $\bar{l}_k = 0,25$

ВЫВОДЫ

1. Экономическая эффективность вентиляторов большой быстроходности существенно зависит от габаритов и формы коллектора и кока. Оптимизация формы и размеров коллекторов и кока позволяет повысить КПД вентилятора с удельной быстроходностью $n_y = 450$ на 19 %, в то время как для вентилятора с удельной быстроходностью $n_y = 50$ – только на 3 %. При этом диаметр коллектора увеличивается на 40 %, а его длина – в 3 раза.

2. Для повышения энергоэффективности вентиляторных установок с ростом удельной быстроходности необходимо обеспечивать постоянство либо рост аэродинамического качества воздуховода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Макаров В.Н., Неволин В.В., Макаров Н.В., Ахметов Р.Г., Таланкин Н.Н. Доминанта повышения эффективности аппаратов воздушного охлаждения для нефтегазового комплекса // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2023. – №48. – С. 98-126. – doi.org/10.15593/2224-9397/2023.4.05.
2. Torshinzi S.A.M., Benisi A.H., Durali M. Numerical optimization and manufacturing of the impeller of a centrifugal compressor // Scientia Iranica. – 2017. – No. 24. – P. 707-714.
3. Брусиловский И.В. Аэродинамический расчёт осевых вентиляторов. – М.: Машиностроение, 1986. – 288 с.
4. Zhou S., Lin P., Zhang W., Zhu Z. Evolution characteristics of separated vortices and near-wall flow in a centrifugal impeller in an off-designed condition // Applied Sciences. – 2020. – Vol. 10, Issue 22. – P. 1-17. doi.org/10.3390/app10228209.

УДК 622.144

ПРИМЕНЕНИЕ ВСТРОЕННОГО АЭРОСЕПАРАТОРА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУШКИ РУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Нурхожаев Е.С.², Макаров В.Н.¹, Р.Г. Макаров Н.В.¹, Пазилова Е.К.¹

¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», Екатеринбург, Россия

²АО «Костанайские минералы», г. Житикара, Республика Казахстан

Проведенные на шахтных печах АО «Костанайские минералы» экспериментальные исследования и компьютерный анализ аэродинамических процессов подтвердили гипотезу о преобладающем влиянии концентрации, медианного диаметра, дисперсии, температуры и влажности пыли, на эффективность пылеулавливания, существенное влияние на температуру и влажность рудной пыли в пневмосушиле параметров прямотока. Для обеспечения оптимальных параметров рудной пыли на выходе из шахтной печи путем приведения уравнения Стокса движения двухфазной среды к однопараметрической задаче по фактору релаксации пыли разработана математическая модель аэросепарации частиц пыли непосредственно в сушиле шахтной печи в функции от расхода, температуры теплоносителя и геометрических параметров аэросепаратора. Применение аэросепаратора, встроенного в сушило позволило повысить экологическую эффективность шахтной печи до 75 – 85 %, тем самым снизив не менее чем в 3 раза концентрацию аэрозоля на выходе из неё. Предложенная конструкция аэрационного сепаратора в настоящее время используется для повышения экологической эффективности ВШСП №9 цеха ДуСхр АО «Костанайские минералы».

Ключевые слова: Экологическая эффективность, аэросепарация, медианный диаметр, сушило, входной коллектор, сила Стокса, Архимеда, аэрозоль.

THE USE OF A BUILT-IN AIR SEPARATOR TO IMPROVE THE ENVIRONMENTAL EFFICIENCY OF DRYING ORE MATERIALS

Nurkhozhayev E.S., Makarov V.N., R.G. Makarov N.V., Pazilova E.K.

Experimental studies and computer analysis of aerodynamic processes conducted at shaft furnaces of Kostanay Minerals JSC confirmed the hypothesis about the predominant influence of concentration, median diameter, dispersion, temperature and humidity of dust on dust collection efficiency, and a significant influence of direct flow parameters on the temperature and humidity of ore dust in the pneumatic dryer. To ensure optimal parameters of ore dust at the outlet of the shaft furnace by reducing the Stokes equation of two-phase medium motion to a one-parameter problem for the dust relaxation factor, a mathematical model of dust particle aero-separation directly in the shaft furnace dryer as a function of the flow rate, coolant temperature and geometric parameters of the aero-separator was developed. The use of an aero-separator built into the dryer made it possible to increase the environmental efficiency of the shaft furnace to 75–85%, thereby reducing the aerosol concentration at its outlet by at least 3 times. The proposed design of the aeration separator is currently used to improve the environmental efficiency of the VShSP No. 9 of the DISHR shop of Kostanay Minerals JSC.

Keywords: Environmental efficiency, aero separation, median diameter, dryer, inlet manifold, Stokes force, Archimedes, aerosol.

Введение. Повышение экологической эффективности ВШСП может быть достигнуто за счет комплексного, конвергентного подхода не только к расчёту и выбору типа фильтра в совокупности с установками предварительной очистки газа, но и к анализу физико-химических свойств, дисперсного состава, диапазона концентрации, влажности и температуры пыли на выходе из сушила, способов аэрационной сепарации её, что требует

совершенствования конструкции входного коллектора газоотводящих каналов [1,2].

Для обеспечения устойчивой работа рукавного фильтра при запылённости газов, входящих в установку фильтрации от 10 г/м³ до 20 г/м³, при медианном диаметре пылевых частиц не менее 30 мкм, минимальной концентрации пыли на выходе не более 20 мг/м³, необходимо обеспечивать минимально возможные скорости фильтрации, гарантированный запас по температуре точки росы, а также уровню аутогезии хризотил асбестовой пыли, т.е. её влажности.

Теоретические аспекты статьи. Повышение экологической эффективности сушки рудных материалов на базе инерционно-гравитационной аэросепарации базируется на научно обоснованной гипотезе о преобладающего влияния на её экологическую эффективность параметров аэрозоля: концентрация, медианный размер, дисперсия, температура и влажность пыли на выходе из печи, зависящих от технологического процесса сушки, состояния руды и определяющих качество пылеулавливания [3,4].

Результаты исследования. Проведенные в цехе ДиСхр АО «Костанайские минералы» экспериментальные исследования и анализ гранулометрического состава пыли в загрузочном, разгрузочном устройствах и на выходе из сушила показали, что в процессе компрессионного механического давления происходит дополнительное дробление взвешенных частиц исходной руды. В пределах фракции $-5 \cdot 10^{-4}$ м. медианный диаметр частиц пыли возрастает по мере движения руды к входному коллектору газоотводящих каналов и далее в зону разгрузки. Указанное приводит к дополнительному выделению капиллярной влаги, росту слипаемости, снижению эффективности пылеулавливающего оборудования [5].

Как видно из (рис.1, 2) медианный диаметр взвешенных частиц фракции $-5 \cdot 10^{-4}$ м в загрузочном устройстве, на выходе из печи и в разгрузочном устройстве возрастает и равен соответственно: $2,95 \cdot 10^{-4}$ м; $3,35 \cdot 10^{-4}$ м; $4,5 \cdot 10^{-4}$ м. При этом дисперсия медианного диаметра взвешенных частиц хризотил асбеста так же возрастает с 0,2d до 0,3d, что подтверждает вышесказанное.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что концентрация взвешенных частиц хризотил-асбеста фракции -500 мкм в аэрозоли в процессе сушки возрастает в интервале от 63% до 69% от её концентрации в загрузочном устройстве в диапазоне режимных параметров ВШСП. Таким образом, рост концентрации взвешенных частиц хризотил-асбеста, изменяясь не более чем на 10% в широком диапазоне режимных параметров шахтной печи, приводит к увеличению практически на 70% экологической нагрузки на пылегазоочистное оборудование ВШСП.

Для повышения экологической эффективности ВШСП и её пылеулавливающего оборудования в статье предложено встроенное в сушило печи устройство аэрационной сепарации.

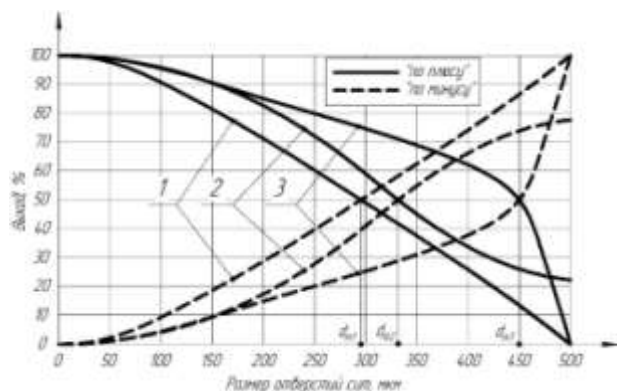


Рис. 1 – Суммарные ситовые характеристики и медианные диаметры взвешенных частиц хризотил-асбеста фракции -500 мкм: 1 – в загрузочном устройстве; 2 – на выходе из ВШСП; 3 – в разгрузочном устройстве.

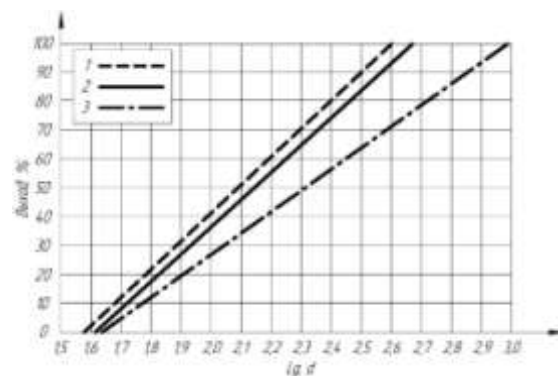


Рис. 2 – Номограммы дисперсного состава взвешенных частиц хризотил-асбеста фракции -500 мкм: 1 – в загрузочном устройстве; 2 – на выходе из ВШСП; 3 – в разгрузочном устройстве..

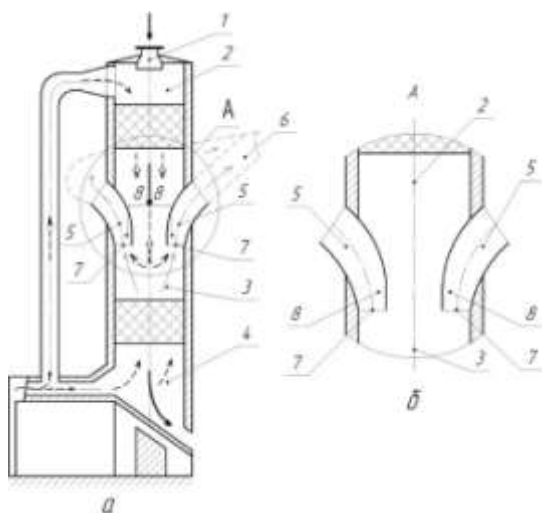


Рис. 3. Схема: а – ВШСП; б - устройства аэрационной сепарации пыли

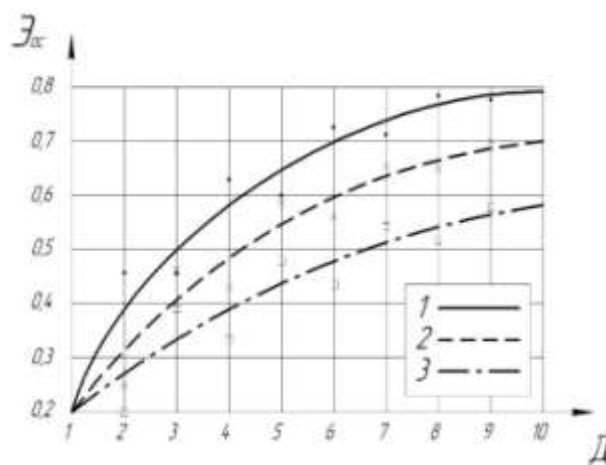


Рис. 4 – Динамика изменения экологической эффективности шахтной печи от диффузорности аэрационного сепаратора при:
 $t_1 = 500^\circ\text{C}$; $Pr = 28 \text{ кг/с}$; $S_{BK} = 2 \text{ м}^2$; $1.Q = 13 \text{ м}^3/\text{с}$;

Проведенные на ВШСП №9 экспериментальные исследования показали, что наибольшая эффективность печи и циклона достигается при следующих параметрах газового потока и асбестовой пыли на входе в пневмосушило: $t_r \geq 150 - 200^\circ\text{C}$, $t_{\pi} \geq 45 - 55^\circ\text{C}$, $\varphi_r \geq 30 - 40\%$, $\varphi_{\pi} \geq 0,6 - 0,7\%$; $z_4 \leq 40 \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$.

На рис. 3 представлена схема ВШСП, реализующая модифицированный метод аэрационной сепарации для повышения экологической эффективности, содержащая загрузочное устройство 1, верхнюю проточную 2, нижнюю противоточную 3 части сушила, устройство выгрузки 4, входной коллектор 5 в газоотводящие каналы 6, с горизонтальным входом 7 в зоне

схождения прямоточной и противоточной частей сушила, выполненный в виде вертикального диффузорного канала 8.

Из анализа рис. 4, видно, что применение оптимально спроектированного аэросепаратора в виде вертикального диффузорного канала, встроенного в сушило печи, сепарирует до 80% хризотил-асбестовой пыли, направляя её в разгрузочное устройство и далее в черновой концентрат на обогащение и классификацию, позволяя повысить эффективность пылеулавливания совместно с циклоном СК-ЦН-34 с 93 % до 98 %, снизив тем самым нагрузку на ступень тонкой пылеочистки.

Заключение.

1. Экспериментальные исследования подтвердили гипотезу о преобладающем влиянии концентрации, медианного диаметра, дисперсии, температуры и влажности пыли, на качество пылеулавливания.

2. Предложена конструкция сепаратора, интегрированного в сушило печи и обеспечивающего с учетом достижения параметров, указанных в п. 3 экологическую эффективность печи 75 – 80 %, что позволяет повысить эффективность пылеулавливания совместно с циклоном СК-ЦН-34 с 93 % до 98 %, снизив тем самым нагрузку на ступень тонкой пылеочистки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кычкин А.В., Николаев А.В. Архитектура киберфизической системы управления проветриванием подземного горнодобывающего предприятия на базе платформы Интернета вещей. Мехатроника, автоматизация, управление. 2021;22(3):115-123. <https://doi.org/10.17587/mau.22.115-123>.

2. Velikanov, V.S., Dyorina, N. V., Suslov, N.M., Luntsova, A.I., Rabina, E.I. Automation of design for dynamic loading at the designing stage of mining machinery (2019) Journal of Physics: Conference Series, 1399 (3), article №033010, pp. 1-5.DOI: 10.1088/1742-6596/1399/3/033010.

3. Пелевин А. Е., Сытых Н.А., Черепанов Д.В. Влияние крупности частиц на эффективность сухой магнитной сепарации // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — №11-1. — С. 293-305. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_111_0_293.

4. Буренин В.В. Удаление вредных веществ из пылевоздушных выбросов предприятий. // Экология производства. 2014. № 12. С. 56-63.

5. Юрьев Б.П., Гольцев В.А., Мальцев, В.А.,Савин В.А.Сушка хризотиловой руды в вертикальных аппаратах шахтного типа//Строительные материалы. 2016; № 8. стр. 80.

УДК 622.144

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ ДЛЯ АППАРАТОВ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ НА БАЗЕ ПРИРОДОПОДОБНОЙ СОРАЗМЕРНОСТИ

Нурхожаев Е.С.², Макаров В.Н.¹, Макаров Н.В.¹, Пазилова Е.К.¹

¹Уральский государственный горный университет, 620144, Екатеринбург, Россия,

²АО «Костанайские минералы, г. Житикара, 110700, Казахстан, Костанайская область

Приведены результаты исследований по повышению аэродинамического качества профилей лопаток рабочего колеса вентиляторов для аппаратов воздушного охлаждения в широком диапазоне изменения технологических параметров на основе принципа природоподобной соразмерности. Выявлено, что коэффициент природной соразмерности является аналогом интегрального аэродинамического качества профиля лопатки. Выяснено, что математическая модель позволяет спроектировать профиль лопатки с оптимальным расположением зон на ней, сместив максимальную толщину профиля на 25 % ко входной кромке. Проведена оценка возможности создания аэродинамической схемы с распределенными источниками, позволяющей на 70 % увеличивать коэффициент аэродинамического качества профиля лопатки. Представлена аэродинамическая характеристика вентиляторной установки ВУ2,5-0,6К4, спроектированной по предложенной методике, со статическим КПД не менее 0,78.

Ключевые слова: вентилятор, профиль, циркуляция, природоподобная соразмерность, струйное управление течением, энергоэффективность, источник, адаптивность.

DESIGNING ENERGY EFFICIENT FANS FOR AIR COOLERS BASED ON NATURE-LIKE PROPORTIONALITY

Nurkhozhayev E.S., Makarov V.N., R.G. Makarov N.V., Pazilova E.K.

The article presents the results of studies on increasing the dynamic qualities of the blade profiles of the impeller fans for air-cooling devices by significantly changing the process parameters based on the principles of nature-like proportionality. It is revealed that the coefficient of natural proportionality is an analogue of the integral aerodynamic quality of the blade profile. It was found that the mathematical model makes it possible to design the blade profile with the optimal location of the zones on it, shifting the maximum profile thickness by 25% to the entrance edge. The possibility of creating an aerodynamic scheme with distributed sources has been evaluated, which makes it possible to increase the aerodynamic quality coefficient of the blade profile by 70%. The aerodynamic characteristics of the VPU 2,5-0.6 K4 fan unit, designed according to the proposed method, with a static efficiency of at least 0.78, are presented.

Keywords: fan, profile, circulation, nature-like proportionality, jet control of forms, energy efficiency, source, adaptability.

Введение. Низкая эффективность аэротермодинамических процессов компримирования газа на предприятиях горного и нефтегазового комплексов РФ [1-2] эквивалентна 11 % ВВП страны. Значительные колебания параметров технологической среды и атмосферных условий ухудшают энергоэффективность, и в первую очередь, это обусловлено низкой адаптивностью вентиляторов [3-4].

В основу методологии создания адаптивных вентиляторов положена научная гипотеза о природоподобной соразмерности в аэродинамике профилей лопаток рабочих колес. Согласно этой гипотезе, непрерывное управление отношением циркуляции скорости потока и циркуляции его ускорения, т.е. локальной диффузорностью, принятое в качестве доминан-

ты, определяет эффективность преобразования механической энергии вращающегося рабочего колеса во внутреннюю энергию потока.

Для построения математической модели реализации принципа природоподобной соразмерности в аэродинамике взаимодействия потока воздуха с профилями лопаток рабочего колеса, на которых расположены источники, в работе использовалась модификация метода конформного отображения [5,6].

Предварительно было преобразовано обтекание классического профиля на физической плоскости в обтекание на вспомогательной Римановой плоскости. Математическая модель была сформирована на вспомогательной плоскости комплексного переменного $(\varphi + i\psi) = \lambda$ обтекания потоком цилиндра единичной длины (круга) с радиусом r , равным a (рис. 1, а) [5,6]. При этом исходим из того, что геометрическая задача конформного отображения внешней по отношению к профилям лопаток рабочего колеса области в физической плоскости обтекания рабочего колеса (рис. 1, б) на внешнюю по отношению к цилиндру область вспомогательной Римановой плоскости, в том числе и с учетом источника на поверхности цилиндра, имеет единственное решение.

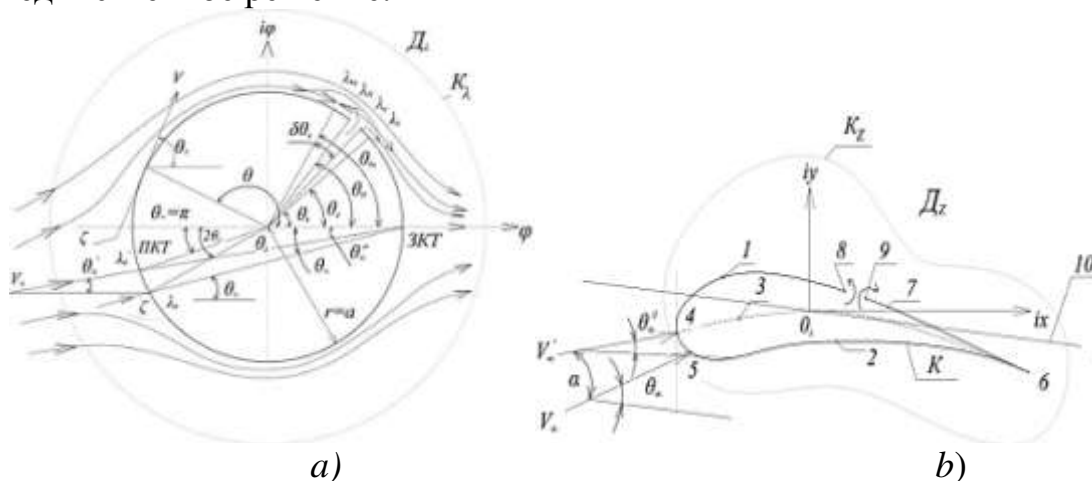


Рис. 1. Аэродинамический профиль лопатки рабочего колеса вентилятора с источником на рабочей поверхности (а) и его конформное отображение на цилиндр радиуса r в Римановой плоскости D_z (б): 1 – рабочая поверхность; 2 – тыльная поверхность; 3 – средняя линия профиля; 4, 5 – ПКТ при V_∞^0 и V_∞ ЗКТ; 6 – ЗКТ; 7 – точка обрыва потока; 8, 9 – границы источника (аэродинамического канала); 10 – линия без циркуляционного обтекания профиля

Раздельное управление циркуляцией скорости и циркуляцией ускорения потока вокруг профиля лопатки возможно за счет локального распределения источников с интенсивностью $\bar{q}(\bar{x})$. В этом случае формула (1) для расчета локальной диффузорности примет вид:

$$D_{\Pi}^{\Delta} = 1 - \frac{\partial(\bar{V} - \bar{q}(\bar{x}))}{\partial \bar{x}} = 1 + \frac{\partial \bar{v}(\bar{x})}{\partial \bar{x}} + \frac{\partial \bar{q}(\bar{x})}{\partial \bar{x}}, \quad (1)$$

где $\bar{q}$ – относительный расход источника на поверхности профиля лопатки; $\bar{q}(\bar{x})$ – интенсивность источника, $\text{м}^3/\text{с}$; $\bar{q}(\bar{x}) = \frac{\bar{q}(\bar{x})}{Q}$; здесь Q – производительность вентилятора, $\text{м}^3/\text{с}$.

Из этого следует, коэффициент природоподобной соразмерности для профиля на режиме $\theta = \theta_\infty$ определяют по формуле:

$$K_\Pi(\theta_\infty) = 1 - \int_{\bar{x}_m}^{\bar{x}_{\text{ЗКТ}}} \frac{|\gamma_a(\bar{x})|}{\gamma(\bar{x})} d\bar{x}, \quad (2)$$

где θ – текущий угол положения точек $\lambda_\theta = r \cdot e^{\theta i}$ на цилиндре в Римановой плоскости D_λ ; r – радиус цилиндра на вспомогательной плоскости комплексного переменного λ_θ (рис. 1, а); θ_∞ – угол вектора скорости на бесконечности в областях D_z и D_λ с осями $O_z x$ и $O_\lambda \varphi$; $\gamma(\bar{x})$, $\gamma_a(\bar{x})$ – коэффициент циркуляции скорости и ускорения потока в окрестности точек $\bar{x}, \bar{y}$; $\bar{x}_m$, $\bar{x}_{\text{ЗКТ}}$ – относительные коэффициенты положения точек максимальной толщины профиля и ЗКТ.

Выводы: 1. Подтверждена потребность в актуализации методологии создания адаптивных вентиляторов для аппаратов воздушного охлаждения.

2. В статье предложена методология проектирования адаптивных профилей с высоким аэродинамическим качеством в широком диапазоне углов атаки для лопаток рабочего колеса вентилятора с использованием коэффициента природоподобной соразмерности.

3. Создание вентиляторов на основе принципа природоподобной соразмерности позволяет адекватно и одновременно с минимальными энергетическими затратами обеспечивать необходимые параметры охлаждающего воздуха, устойчивую эффективность теплообменных аппаратов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ключев Р. В., Егорова Е. В., Босиков И. И., Цидаев Б. С. Оценка использования эффективных технологий для повышения устойчивого развития природно-технической системы нефтегазового комплекса // Устойчивое развитие горных территорий. 2018. Т. 10. № 3 (37). С. 392–403. DOI: 10.21177/1998-4502-2018-10-3-392-403.

2. Ganzulenko O. Y., Petkova A. P. Energy efficiency of the linear rack drive for sucker rod pumping units // Journal of Mining Institute. 2023. Vol. 261. P. 325–338. EDN HIGAOE.

3. Bosikov I. I., Klyuev R. V., Silaev I. V., Piliyeva D. E. Estimation of multistage hydraulic fracturing parameters using 4D simulation // Mining Science and Technology (Russia). 2023;8(2):141–149. DOI: 10.17073/2500-0632-2023-01-97.

4. Основные конкурентные преимущества АВО газа типа «Айсберг». Воронеж: Издательско-полиграфический центр "Научная книга", 2019. С. 60–70. eLIBRARY ID: 37205537.

5. Abakumov A. M., Stepashkin I. P. Research of the adaptive automatic control system at the natural gas air – cooling unit // IEEE Xplore. 2017. DOI: 10.1109/ICIEAM.2017.8076297.

6. Kychkin A., Nikolaev A. IOT-based mine ventilation control system architecture with digital twin. Proceedings – 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2020.

УДК 622.44

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НА ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ ТЕХНОЛОГИИ «ВЕНТИЛЯЦИЯ ПО ТРЕБОВАНИЮ»

Молчанов¹ М.В., руководитель стратегического проекта горного направления,

Макаров² Н.В., к.т.н., Макаров² В.Н. д-р техн. наук, Алексеев² М.А., студент

¹АО «Уралмеханобр», Екатеринбург, Россия

²ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», Екатеринбург, Россия

Установлены принципы и целесообразность применения на подземных горных работах технологии «Вентиляция по требованию».

Ключевые слова: вентилятор, установка, вентиляция по требованию.

DETERMINING THE FEASIBILITY AND SCOPE OF APPLICATION OF THE “VENTILATION ON DEMAND” TECHNOLOGY IN UNDERGROUND MINING OPERATIONS

M. V. Molchanov, N. V. Makarov, V. N. Makarov, M. A. Alekseev

The principles and feasibility of using the “Ventilation on Demand” technology in underground mining operations have been established.

Keywords: Fan, installation, ventilation on demand.

Работа связана с научным поиском, проведением исследования, в целях обоснования принципов построения вентиляции по требованию, а также проверке научных гипотез и установления закономерностей распределения и расхода воздуха относительно требуемого расчета необходимого количества воздуха.

Концепция вентиляции по требованию заключается в рациональном и эффективном управлении потоками воздуха в требуемом объеме для выполнения технологических операций, проводимых на подземном руднике.

Актуальность работы заключается в соблюдении требований Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» от 08.12.2020 г. №505 в применении вентиляции по требованию, при обеспечении безопасности проветривания рудника, в параметры работы, как главных вентиляционных установок рудника, так и вентиляторов местного проветривания.

Анализируя хронометраж работы машин с ДВС в проходческом забое можно сделать вывод, что развитие максимальной мощности двигателем происходит в 6-8% интервале времени работы машины. Остальное время ДВС развивает мощность и обороты значительно меньше номинала, указанного заводом изготовителем в паспорте ПДМ. Именно поэтому, там, где работает машина с ДВС при ее нормальной работе не требуется максимальное количество воздуха определенное расчетом по условию разжижения вредных выбросов для конкретного типа ДВС, в условиях современных двигателей данный показатель колеблется в районе 2,65-3,7 м³/с на лошадиную силу, а требуется в стандартной ситуации количество воздуха

достаточное для разжижения газов на средних оборотах, так как ДВС в таком режиме работает более 50 % всего времени. Наблюдения применимы к рудникам, где эксплуатируют погрузочно-доставочные машины с ДВС.

Цель исследований. Построение принципов автоматизации процесса вентиляции по требованию. Целью работы является контроль атмосферы и соблюдение безопасности от внедрения наилучших доступных технологий (НДТ) и оптимизация затрат при добыче руды на рудниках.

Результаты исследований. «Вентиляция по требованию» - это система автоматизации по управлению процессом проветривания подземного рудника, предназначенная для оптимизации вентиляции горных выработок, в зависимости от фактической газовой обстановки, вследствие выполняемых технологических операций, а также локации персонала и транспортных средств.

Система рассчитана на распределение потоков воздуха в режиме реального времени, на основании автоматической обработки и анализа регламентируемых параметров рудничной атмосферы, с учетом постоянных изменений.

Управление воздушными потоками производится путем полного или частичного автоматического, а также и ручного (в зависимости от принятого уровня управления) регулирования режимов работы вентиляторных установок и положения вентиляционных устройств.

Установление необходимых параметров проветривания горных участков производится при помощи алгоритмов в процессе обработки данных ряда автоматизированных систем, интегрированных в специализированный программный комплекс.

Решаемые задачи:

- 1) Постоянный дистанционный мониторинг аэрогазовой обстановки в вентиляционной сети;
- 2) Сохранение архивных данных автоматизированных систем;
- 3) Оптимизация распределения свежего воздуха на отдельных участках и в вентиляционной сети в целом;
- 4) Предупреждение опасных ситуаций;
- 5) Упрощение контроля соблюдения требований безопасности;
- 6) Снижение влияния человеческого фактора;
- 7) Повышение энергоэффективности процесса проветривания.

Требования:

- 1) Разработка соответствующих нормативно-правовых оснований.
- 2) Создание интегрированного программно-вычислительного комплекса на базе действующей инфраструктуры рудника (автоматизированных систем планирования, диспетчеризации, аэрогазового контроля, позиционирования).
- 3) Построение системы управления воздушными потоками.

Работа системы:

1) Регулирование параметров работы вентиляционных установок, при помощи преобразователей частоты. Положительный способ регулирования.

2) Управление в автоматическом режиме вентиляционными устройствами (перемычки, шлюзы, двери), снижение пропускной способности проходящих потоков воздуха. Отрицательный способ регулирования (Рисунок 1).

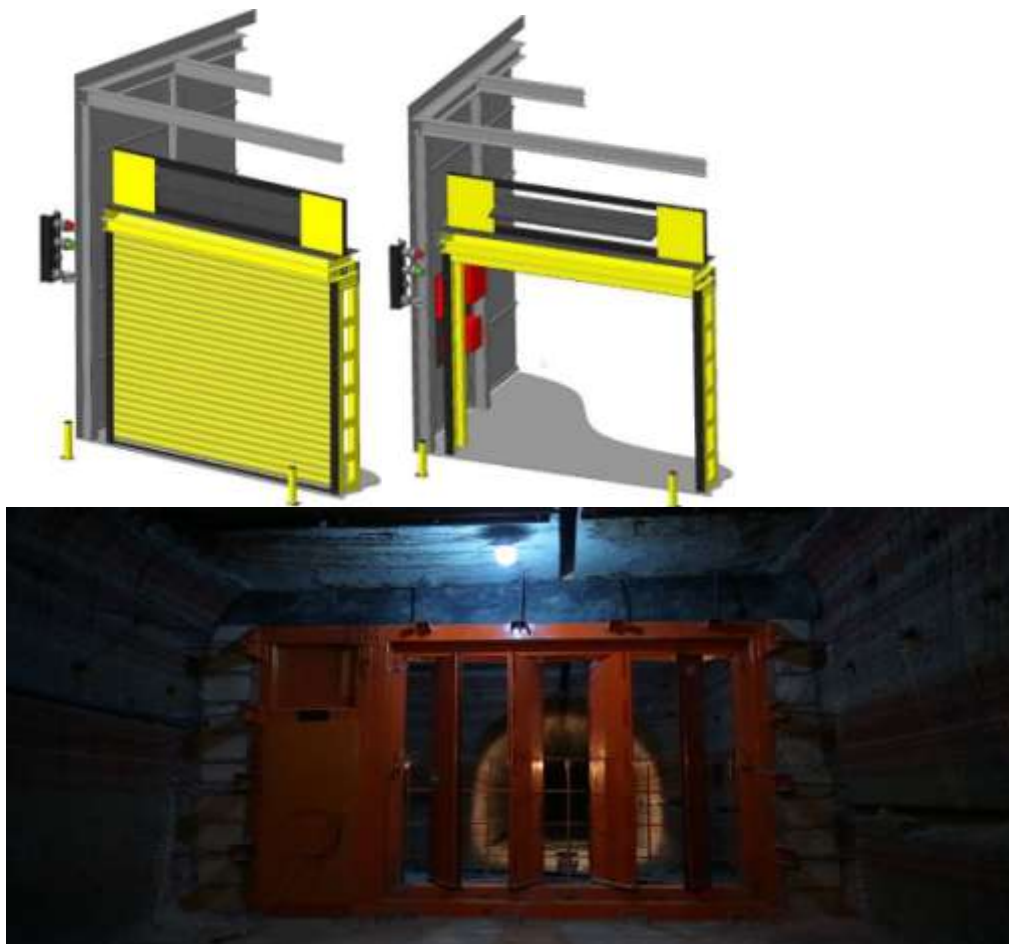


Рисунок 1 - Пример отрицательного способа регулирования. Автоматические вентиляционные двери (перемычки). Варианты исполнения.

Отрицательное регулирование автоматическими системами управления работы перемычек, предоставляет возможность проезда техники и свободного прохода людей, однако составляет сложность при условии частого использования на открытие и закрытие перемычки. При условии постоянного открытия, например, для проезда техники может установиться не стабильный режим проветривания, который требует нормализации процесса только при прошествии времени. Учитывая общее количество недостатков применения вентиляционных перемычек, к ним можно отнести:

1) Установка перемычек приводит к повышению общего сопротивления рудничной сети.

2) Создает дополнительные препятствия для проезда и прохода персонала, особенно при условии эвакуации и действия режимов ПЛА.

3) Является достаточно сложным техническим сооружением.

Учитывая общие недостатки, можно сделать вывод о целесообразности применения все же двух способов регулирования, однако отрицательный способ применим в меньшей мере. Установка переключек не будет оказывать особого отрицательного влияния на вентиляционных выработках рудника.

Работа устройств, как отрицательного, так и положительного способа зависит от показания датчиков контроля за системой вентиляции рудника.

Ограничения: На текущий момент применение «вентиляции по требованию» ограничено ФНиП ПБ [1]

Поскольку требования к «вентиляции по требованию» актуальными ФНиП ПБ [1] не установлены, при проектировании необходимо установление требований промышленной безопасности к его эксплуатации в обосновании безопасности опасного производственного объекта, что совместно с разработкой специальных технических условий, позволит применить данную систему вентиляции на рудниках.

1. Проведены исследования целесообразности и области применения на подземных горных работах технологии «Вентиляция по требованию».

2. Применение вентиляторных комплексов, построенных на принципах «Вентиляции по требованию», в рамках цифровизации предприятий, позволит рассчитать и применить оптимальные параметры системы вентиляции в конкретный момент времени, что повысит промышленную безопасность на местах ведения работ, снизит вредное влияние на экологию района размещения предприятия

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых", Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 08.12.2020 № 505.

2. Брусиловский И.В. Аэродинамический расчет осевых вентиляторов // М.: Машиностроение, 1986 г.

3. ВНТП 13-2-93 нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий с подземным способом разработки

4. ГН 2.2.5.3532-18 - Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны

УДК 622.44

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НА ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ «ВЕНТИЛЯЦИЯ ПО ТРЕБОВАНИЮ»

Молчанов¹ М. В., руководитель стратегического проекта горного направления,
Макаров² Н. В., к.т.н., зав. кафедрой, Макаров² В. Н. д-р техн. наук,
Пазилова² Е. К., студент

¹АО «Уралмеханобр», Екатеринбург, Россия

²ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», Екатеринбург, Россия

Определены возможные уровни управления системой построенной на принципах вентиляции по требованию, а также влияние этой системы на энергоэффективность предприятия.

Ключевые слова: вентилятор, установка, вентиляция по требованию, энергоэффективность, автоматизация.

IMPROVING ENERGY EFFICIENCY IN UNDERGROUND MINING WITH VENTILATION ON DEMAND TECHNOLOGY

Molchanov M. V., Makarov N. V., Makarov V. N., Pazilova E. K.

Possible levels of control of a system built on the principles of ventilation on demand, as well as the impact of this system on the energy efficiency of the enterprise, are determined.

Keywords: fan, installation, ventilation on demand, energy efficiency, automation.

Актуальность работы заключается в определении уровня автоматизации вентиляции по требованию, что предоставит возможность безопасно менять параметры работы ГВУ и ВМП в зависимости от технологических особенностей, проходящих на руднике, при этом обеспечивая непрерывный контроль за процессом, тем самым повышая энергоэффективность предприятия.

Цель исследований. Целью работы определить степень и уровни требуемой автоматизации системы вентиляции рудника оптимизация затрат при строительстве и добыче руды.

Результаты исследований. Анализируя хронометраж работы машин с ДВС, можно сделать вывод, что 67% всего времени нет необходимости в работе ВМП на максимальную расчетную производительность, что говорит о возможном и значительном энергосбережении. Вентиляционные установки в качестве ВМП с производительностью 35-40 м³/с имеют мощность 110 кВт, снижение потребления электроэнергии до 50 кВт позволит сократить годовой уровень затрат.

Для обеспечения процесса вентиляции по требованию должно быть применимо интеллектуальное программное обеспечение, подключенное к аппаратным устройствам, для удаленного мониторинга, контроля и автоматизации необходимого количества воздуха, его скорости, нагрева или охлаждения. Целью является создание комфортных условий, чтобы обеспечить безопасную, производительную вентиляцию, при необходимом снижении затрат. Данная система вентиляции предназначена для моделирования воздушных потоков, давления, тепла, газов, пожара, потребление

электроэнергии и многих других типов данных вентиляции из модели рудника. Для этих целей создается 3D-модель сети горных выработок, с возможностью учитывать вновь проходимые выработки, а также погашенные и исключаемые из общего числа. Программный продукт должен имитировать воздушные потоки, параметры работы вентиляционных агрегатов в реальном времени, анализировать состояние вентиляции рудника. В программе учитывается в режиме реального времени контроль показателей (факторов), включая производительность воздушного потока, скорость, давление, температуру, загрязняющие вещества, стоимость операционных расходов и т.д.

Дистанционное управление проветриванием в ручном режиме:

- Ручное управление: управление скоростью вентилятора или по месту с панели управления.

- Полная интеграция с наземными и подземными вентиляторами местного проветривания. Можно использовать для варьирования степени открытия регулятора.

Автоматизированное управление проветриванием по графику

Работа по графику: активация элементов управления на основе событий.

Частота активации настраивается в соответствии с рабочими потребностями вентиляции рудника.

Этот уровень позволяет управлять параметрами вентиляции посредством конфигурирования уставок на базе данных аэрогазового контроля и поддерживаемых пропорционально-интегрально-дифференцирующими (ПИД)-регуляторами, функции которых реализуются в рамках программного обеспечения. Контроллеры получают данные с датчиков (например, скорости воздуха), которые использует для управления вентиляторами и регуляторами.

Регулирование вентиляции происходит на основе вторичных параметров (таких как концентрация газа или температура), фиксируемых станцией контроля вентиляции. Когда такой параметр превышает определенный предел, уставка расхода увеличивается (т.е. положительная поправка), в результате этого происходит увеличение объемов подачи воздуха или снижение.

В состав природных газов месторождений могут входить горючие газы (метан с примесями водорода и тяжелых углеводородов) и флегматизаторы горения (азот, диоксид углерода и небольшие количества инертных газов). Горючие газы по своему составу относятся к категории I взрывоопасных смесей («метан на подземных горных работах»).

На рудниках зачастую реализована система Аэрогазового контроля (АГК), задача которой заключается в контроле состава газов рудничной атмосферы – CO и NO и передаче сигнале при условии превышения референтных значений выше ПДК. На основании полученного сигнала проводится ряд мероприятий, нацеленных на безопасность - вывод служебного

персонала на свежую струю, остановка самоходного и другого вида оборудования, если это не противоречит позициям Плана ликвидации аварий (ПЛА). Таким образом, действующие системы АГК не функциональны, и нацелены только на демонстрацию полученных значений о составе рудничной атмосферы. Все последующие решения принимаются специалистами, которые, в свою очередь, должны вести постоянный контроль (наблюдение) за показаниями работы датчиков и оперативно принять последующие решения.

В качестве предлагаемых решений, для доработки существующих систем АГК необходимо установить взаимосвязь полученных значений от показаний датчиков контроля газа – NO, CO, O₂, CH₄ с параметрами работы вентиляционных установок и положения вентиляционных сооружений. При этом необходимо автоматизировать вентиляционные двери при условии открытия и закрытия электрофицируя привод.

Требуется контроль шахтной атмосферы, работы и управления главных вентиляционных установок, а также вентиляторами местного проветривания, положения вентиляционных дверей.

Для контроля атмосферы в рудниках должны использоваться методы и средства современного технического уровня с использованием компьютерных технологий и положительным опытом их эксплуатации, приобретаться системы аэрогазового контроля (АГК), позволяющие с помощью вычислительной техники непрерывно получать информацию об аэрогазовой обстановке, фиксировать, накапливать и использовать полученную информацию.

Система АГК должна обеспечивать:

- непрерывное централизованное слежение за параметрами рудничной атмосферы (концентрация газов, скорость движения воздуха, температура, давление, влажность) в целях текущего (оперативного) обнаружения природных и техногенных опасностей, влияющих прямо или косвенно на состояние рудничной атмосферы;
- принятие своевременных мер по обеспечению безопасности труда путем нормализации параметров рудничной атмосферы или прекращения горных работ;
- хранение информации и последующее ее использование при разработке комплексных общешахтных мероприятий по технике безопасности, при расчетах количества воздуха, подаваемого в горные выработки, а также для установления категории шахты по газопроявлениям.

Комплекс технических средств системы АГК должен состоять из стационарно устанавливаемых в шахте средств отбора информации (датчиков), средств контроля и управления, средств сбора и передачи информации на диспетчерский пункт, средств приема, предоставления и хранения информации на диспетчерском пункте.

АГК применяется для визуализации шахтной вентиляционной сети с указанием в режиме реального времени всех параметров опасности и рабо-

ты средств управления вентиляцией шахты как в нормальном, так и в реверсивном режимах. АГК должен применяться при принятии решений по ликвидации аварии специалистами штаба, созданного по ПЛА.

Интеграция системы позиционирования

Интеграция позиционирования («Вентиляция по потребности»)

На данном уровне продвинутого управления, программного обеспечения, при расчетах и поддержании заданных параметров вентиляционной сети, дополнительно учитывается актуальное присутствие персонала или оборудования в рабочих зонах (зона позиционирования).

На данном уровне в руднике должна быть внедрена система позиционирования.

Если системы позиционирования нет, программное обеспечение может имитировать соответствующую потребность в воздухе с помощью сценариев симуляции производственного процесса.

Автоматическая оптимизация процесса проветривания с использованием алгоритмов

Оптимизация загрузки вентиляторов:

- оптимизирует энергопотребление вентиляторов, изменяя его частоту вращения в зависимости от степени открытия регуляторов потока.

Суммарная потребность:

- стратегия каскадного типа, при которой потребность вентиляции рассчитывается в соответствии с требованиями сопряженного или обслуживаемого оборудования.

Данный режим учитывает плотность воздуха вокруг оборудования для обеспечения необходимого объемного расхода вентилятора.

Вывод

Переход на дистанционное управление вентиляторами с помощью соответствующих аппаратных средств оптимизирует работу вентиляции, снижая потери энергии. В зависимости от реализованных уровней управления система позволит сократить расходы энергии на 10-50%. Оптимизация снижает время проветривания после взрывных работ/выброса метана и увеличивает объем добычи (если он ограничен возможностями вентиляции).

Список литературы

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых", Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 08.12.2020 № 505.
2. ВНТП 13-2-93 нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий с подземным способом разработки
3. ГН 2.2.5.3532-18 - Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны

УДК 622.452

ПОСТАНОВКА ВОЗДУШНОЙ ЗАВЕСЫ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ УТЕЧЕК ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ УСТЬЕ ШАХТНОГО СТВОЛА

Морин А. С., заведующий кафедрой, Сапожников С. С., аспирант
Сибирский федеральный университет, институт цветных металлов, г. Красноярск

Представлен новый способ постановки аэродинамической завесы в устье шахтного ствола с помощью вспомогательной вентиляторной установки с щелевым патрубком и направляющей пластины. Дана ориентировочная оценка энергетической эффективности способа.

Ключевые слова: подземные горные выработки, всасывающий способ вентиляции, поверхностные утечки воздуха, аэродинамическая завеса в устье ствола, направляющая пластина.

INSTALLATION OF AN AIR CURTAIN TO PREVENT AIR LEAKS THROUGH THE MOUTH OF THE SHAFT

Morin A. S., Sapozhnikov S. S.

A new method of installing an aerodynamic curtain in the mouth of a mine shaft using an auxiliary fan unit with a slit nozzle and a guide plate is presented. An approximate assessment of the energy efficiency of the method is given.

Keywords: underground mining, suction ventilation method, surface air leaks, aerodynamic curtain at the mouth of the shaft, guide plate.

Безопасность горных работ в значительной степени зависит от состава воздуха в рабочих зонах. Для нормализации атмосферы на горнодобывающих предприятиях принято использовать высокопроизводительные вентиляционные комплексы. Эксплуатация этих комплексов связана с многочисленными проблемами [1], одной из которых является нерациональное расходование большого количества электроэнергии в результате внутренних и поверхностных утечек воздуха в вентиляционных сетях.

При общеобменной вентиляции подземных горных выработок широко используется всасывающий способ, реализуемый с помощью главной вентиляторной установки 1, обеспечивающей перемещение отработанного воздуха из шахты во внешнюю среду по вертикальному воздуховыдающему стволу 2 и вентиляционному каналу 3 с окном 4 (рис. 1).

Разрежение, создаваемое вентилятором 1 в вентиляционном окне 4, вызывает подсос атмосферного воздуха через верхнее сечение воздуховыдающего ствола 5. Это нежелательное явление принято относить к поверхностным утечкам. Доля непродуктивных затрат электроэнергии, связанная с избыточной производительностью главной вентиляторной установки 1 при утечках воздуха через надшахтное здание 6 и устье ствола 7, может составлять значительную часть затрат энергии на общеобменную вентиляцию подземного предприятия.

Для снижения величины поверхностных утечек предложено повышать аэродинамическое сопротивление устья ствола 7 путём создания над вентиляционным окном 4 завесы в виде плоской горизонтальной воздушной струи 8, исходящей из щелевого нагнетательного патрубка вспомогательной вентиляторной установки 9, внешняя сеть которой опущена вниз по

стволу 2. Напротив патрубка установки 9 на противоположной от вентиляционного окна 4 стороне стенки ствола 2 размещают направляющую пластину 10. Плоская воздушная струя 8, взаимодействуя с пластиной 10, распадается на две ветви 11 и 12. Под действием давления главного вентилятора 1 траектории этих ветвей изгибаются в сторону вентиляционного окна 4 и сливаются в нём. Регулирование соотношения расходов воздуха в ветвях 11 и 12 осуществляют путём изменения уровня установки или угла наклона направляющей пластины 10. Другим возможным способом регулирования этого соотношения является изменение температуры и объёмного расхода исходящей струи вспомогательного вентилятора 9 с помощью нагревательного устройства.

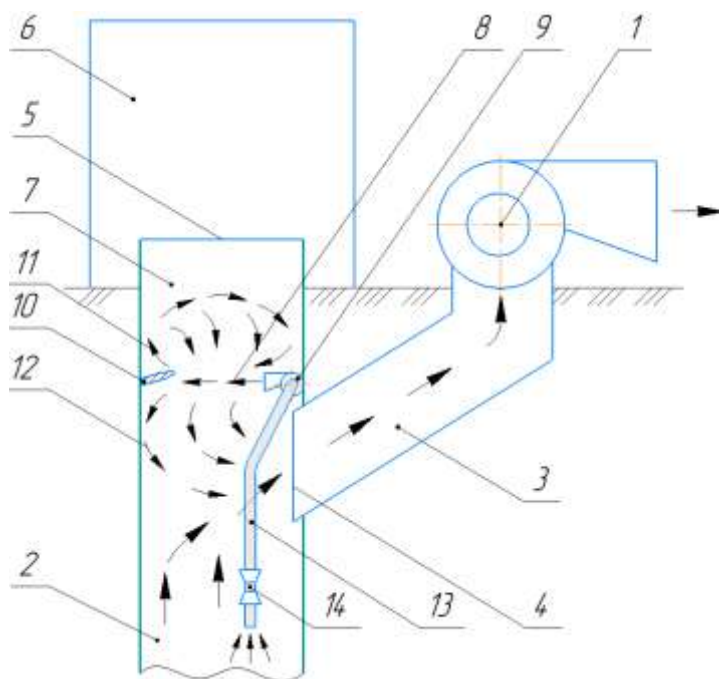


Рис.1. Постановка воздушной завесы в устье шахтного ствола с помощью вспомогательной вентиляторной установки с целевым патрубком и направляющей пластины

Приёмное отверстие всасывающего воздуховода 13, присоединённого к вентилятору 9, размещают ниже вентиляционного окна 4. Этот фактор создаёт дополнительное препятствие на пути движения воздуха из надшахтного здания 6 через концевое сечение ствола 5, поскольку часть объёма подсасываемого главным вентилятором 1 воздуха поступает на верхний участок ствола снизу. Кроме того, нижняя ветвь 12 плоской струи 8, увлекаемая потоком воздуха, поднимающимся из шахты по стволу 2, обеспечивает наддув в область всасывания вентиляционного окна 4 дополнительного количества отработанного воздуха, что способствует повышению расхода в вентиляционном окне 4.

При изменениях напорной характеристики шахтной вентиляционной сети регулируют производительность вспомогательного вентилятора 9, основываясь на показаниях датчиков, регистрирующих направление движения и

расход воздуха в верхнем сечении ствола 5. При подсосах атмосферного воздуха через устье ствола 7 подачу вентилятора 9 увеличивают, а при поступлении отработанного воздуха в надшахтное здание 6 – уменьшают. Регулирование рабочего режима вентилятора 9 осуществляют путём соответствующего изменения объёмного расхода воздуха во всасывающем воздуховоде 13 с помощью поворотной заслонки 14.

Применение данного способа постановки аэродинамической завесы в устье шахтных стволов [2, 3] позволяет уменьшить годовые затраты электроэнергии на искусственное проветривание подземных горных выработок за счёт снижения поверхностных утечек воздуха.

Рассмотрим условный подземный рудник, общеобменная вентиляция которого обеспечивается вентилятором производительностью $Q = 500 \text{ м}^3/\text{с}$, давлением $p = 2500 \text{ Па}$ и мощностью $N = 1600 \text{ кВт}$ с подсосом воздуха через устье ствола $100 \text{ м}^3/\text{с}$. Допустим, что постановка воздушной завесы с помощью рассмотренной выше вспомогательной вентиляторной установки производительностью $Q = 1 \text{ м}^3/\text{с}$, давлением $p = 1000 \text{ Па}$ и мощностью $N = 1,25 \text{ кВт}$ позволила снизить утечки воздуха в два раза со 100 до $50 \text{ м}^3/\text{с}$. Это позволяет снизить производительность и мощность вентилятора до $450 \text{ м}^3/\text{с}$ и 1250 кВт соответственно и обеспечить экономию годового расхода электроэнергии на $3 \text{ млн. кВт}\cdot\text{ч}$.

Список литературы

1. Морин А.С. Обоснование технологии трубопроводного проветривания глубоких карьеров: дис. ... докт. техн. наук: 25.00.22. – Красноярск: СФУ, 2011. – 211 с.
2. Патент на изобретение № 2830946 E21F 1/08; F24F 7/06 (РФ). Способ искусственного проветривания подземных горных выработок / Морин А.С., Сапожников С.С. – № 2024111399; заявл. 25.04.2024; опубл. 26.11.2024. – Бюл. № 33.
3. Патент на изобретение № 2830951 E21F 1/16; F24F 7/06 (РФ). Вентиляционный комплекс / Морин А.С., Сапожников С.С., Плотников И.С., Касьянова Е.Н. – № 2024114164; заявл. 24.05.2024; опубл. 26.11.2024. – Бюл. № 33.

УДК 621.879.3

К ВОПРОСУ О НЕКОТОРЫХ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ МОЩНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭКСКАВАТОРОВ

Побегайло П.А.¹ к.т.н.

¹ - Независимый исследователь, Москва, РФ

Рассмотрен вопрос о ряде статических характеристик рабочего оборудования мощных одноковшовых гидравлических экскаваторов прямого копания. Из массива потенциально существующих, выделены конкретные характеристики и произведено обобщение их численных значений. Высказаны соображения на счёт рекомендуемых для этих статических характеристик численных интервалов для повышения эффективности проектирования новых экскаваторов. Представленные в работе результаты дополняют существующие исследования и позволяют наметить шаги в будущем.

Ключевые слова: гидравлические экскаваторы; рабочее оборудование; нагруженность; максимальные усилия; гидроцилиндр; статические характеристики

TO THE QUESTION OF SOME STATIC CHARACTERISTICS OF THE WORKING EQUIPMENT OF THE MINING HYDRAULIC EXCAVATORS

Pobegailo P.A.

The issue of a number of static characteristics of the working equipment of powerful single-bucket hydraulic direct digging excavators is considered. From the array of potentially existing ones, specific characteristics are identified and a generalization of their numerical values is made. Considerations are expressed regarding the numerical intervals recommended for these static characteristics to improve the efficiency of designing new excavators. The results presented in the work complement existing studies and allow us to outline steps in the future.

Keywords: hydraulic excavators; working equipment; load; maximum efforts; hydraulic cylinder; static characteristics.

Введение. В основу исследований статики одноковшовых мощных гидравлических экскаваторов (МГЭ) положены предущие наработки автора в части исследования статической нагруженности МГЭ и только что выполненный анализ основных тенденций в развитии зарубежных мощных экскаваторов с гидравлическим приводом. Отметим также, что во многих случаях анализа статики связанной с гидравлическими цилиндрами МГЭ всё еще вполне актуальны книги [1-14].

Основной текст. Суть настоящей работы сводиться к анализу таких статических параметров МГЭ как:

- экстремальные значения усилий на штоках гидроцилиндров (ГЦ) всех основных исполнительных механизмов (ИМ) рабочего оборудования (РО);
- диаметры поршней и штоков ГЦ для основных ИМ РО.

Необходимо учитывать распределение значений усилий на штоках гидроцилиндров по рабочей зоне МГЭ (для примера приведен рисунок 1 - для экскаватора ЭГ-12А в режиме копания ковшом (второй случай нагружения)).

Основные материалы для анализа по отечественным мощным экскаваторам типа «прямая лопата» собраны в таблицу 1.

Таблица 1. - Статические константы МГЭ прямого копания

№	Марка МГЭ	i_C	i_P	i_K	MAX , кН	MIN , кН	$\frac{MAX}{MIN} \approx \frac{D^2}{D^2 - d^2}$	$\frac{MAX_{MAX}}{MIN_{TEK}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Прямые лопаты с традиционной кинематической схемой РО								
1	ЭГ-12А	1,6	1,6	1,6	5630	3431	1,64	1
2	ЭГ-20	1,54	1,54	1,16	8796	5080	1,73	1
					8796	5080	1,73	1
					5630*	1472	3,82	1,56/3,45 **
3	ЭГ-6	1,55	1,57	1,5	4310	2529	1,70	1
					2661	1583	1,68	1,62/1,60
					1781	990	1,68	2,42/2,55
4	ЭГ-110	1,4	1,56	1,29	н.д.	н.д.	2,042	н.д.
					н.д.	н.д.	1,694	н.д.
					н.д.	н.д.	2,531	н.д.
Прямые лопаты с одним параллелограммом в РО								
5	ЭГ-15	1,6	1,55	1,55	5630	3431	1,64	1
					4310	2529	1,70	1,31/1,36
					4310	2529	1,70	1,31/1,36
6	ЭГ-10	1,55	1,56	1,56	4310	2529	1,70	1
					3436	2029	1,69	1,25
					3436	2029	1,69	1,25
7	ДГЭ-1200	1,39	1,375	1,375	3927	1891	2,08	1
					3041	1433	2,12	1,29/1,32
					3041	1433	2,12	1,29/1,32
8	УГЭ-300 (один из вариантов)	1,45	1,40	1,40	6434	3393	1,90	1
					4926	2413	2,04	1,31/1,41
					4926	2413	2,04	1,31/1,41

В этой таблице - D и d - диаметры поршня и штока ГЦ; * - стрела, рукоять ковш (сверху вниз) - прочие аналогично; ** - сверху отношение для поршневой полости, снизу для штоковой

Отметим, что представленные в этой таблице параметры удобно и естественно называть статическими константами (СК) гидравлического экскаватора, т.к. они неизменны либо по факту своего существования (т.к. машину уже принципиально не переделать), либо в рамках статической постановки задач анализа МГЭ.

В таблице 1 можно видеть:

- в колонках 3, 4 и 5 - представлены некоторые численные значения получаемые при рассмотрении отношений вида: $i_c = \frac{D_c}{d_c}$, $i_p = \frac{D_p}{d_p}$, $i_k = \frac{D_k}{d_k}$, где в числителе стоит диаметр поршня, а в знаменателе - диаметр штока соответствующего ГЦ для конкретного ИМ РО (эти параметры суть некоторые "квазипередаточные числа" для конкретного ИМ);

- в колонках 6 и 7 приведены экстремальные значения усилия на штоках гидроцилиндров стрелы, рукояти и ковша соответственно (усилие - суммарное, без учёта числа ГЦ в ИМ);

- в колонке 8 численные значения, полученные при делении экстремальных значений усилия: максимального на минимальное (для стрелы, рукояти и ковша соответственно) - главный параметр (ГП) ИМ;

- в колонке 9 указано отношение максимального {минимального} усилия на штоках для всех ИМ РО к минимальному значению максимального {минимального} усилия в конкретном ИМ (для стрелы, рукояти и ковша соответственно).

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЯ НА ШТОКАХ ГИДРОЦИЛИНДРОВ КОВША - КОПАНИЕ КОВШОМ (ВАРИАНТ РАСЧЁТА № 2) - ЭГ-12А (СУММАРНОЕ УСИЛИЕ)

+ рабочая полость ГЦ поршневая;
- рабочая полость ГЦ штоковая

ВЕЛИЧИНЫ СТАТИЧЕСКОЙ КОНСТАНТЫ ДЛЯ ЭГ-12А, кН:

для работы поршневой полостью ГЦ = 5630

для работы штоковой полостью ГЦ = 3431

	D_i/d_i	$K_i = \text{MAX}_i/\text{MIN}_i$
стрела	1,6	1,0
рукоять	1,6	1,0
ковш	1,6	1,0

$$D^2_i/(D^2_i - d^2_i) = 5630/3431 = 1,64$$

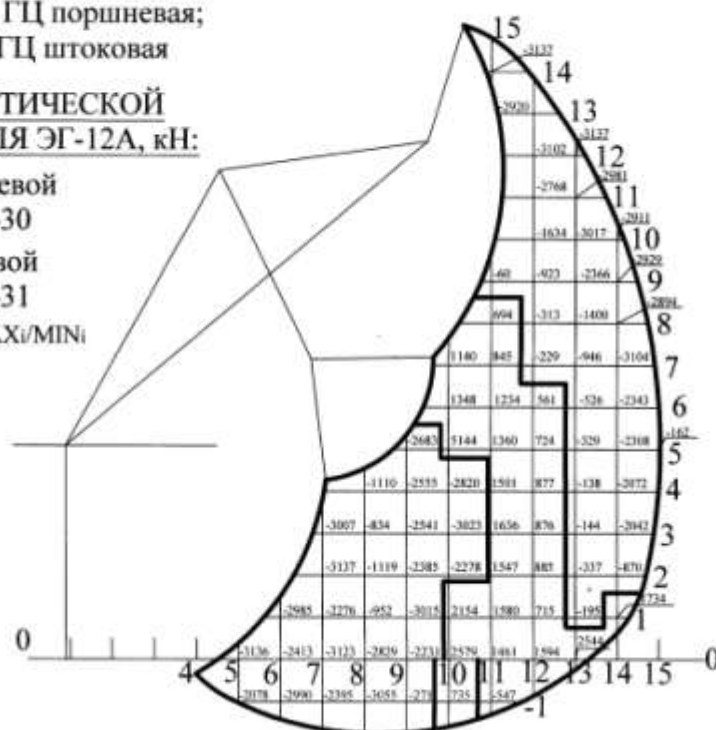


Рис. 1 Скалярное поле распределения усилий на штоках ГЦ ковша у ЭГ-12А (копание ковшом; второй вариант расчёта)

Анализ таблицы 1, с учетом всей гаммы рисунков подобных рисунку 1 и с учётом нашего указанного выше обзора, с опорой на предыдущие исследования, позволяет сказать следующее:

1) Каждый ИМ РО одноковшового гидравлического экскаватора, как и их совокупность, всегда имеет значительный набор статических характеристик, в число которых входит и рассматриваемый нами набор СК. Часть СК имеет экстремальные значения, а часть существует в единственном экземпляре. В ряде случаев, для многих статических характеристик, представляют интерес их средние значения и/или характер распределения их численных значений по рабочей зоне экскаватора (с учётом её естественного разделения на теоретическую и фактическую зону);

2) Каждый одноковшовый гидравлический экскаватор также имеет свои статические характеристики, где есть и свои СК;

3) Конкретное РО МГЭ с достаточной полнотой может быть охарактеризовано ансамблем полевых структур - на рисунке 1 одно из таких скалярных полей и приведено. Для одной и той же кинематической схемы РО и для одной и той же методологической точки зрения на проектирования таких схем ансамбли единичных объектов (например, РО) во многом структурно близки;

4) В число СК входят: три безразмерных отношения диаметров поршней к диаметрам штоков ГЦ РО; два экстремальных значения усилия на штоках ГЦ для каждого ИМ; два отношения указанных усилий, описанные выше (один из них назван ГП). В таблице 1 опущено обратное отношение усилий - минимального к максимальному;

5) Экстремальные значения СК во многом определяются соотношением диаметров поршня и штока (диаметр поршня входит в формулу для определения скорости движения штока);

6) Для отечественных МГЭ с традиционной кинематической схемой РО [1-14 и др.] соотношение диаметра поршня к диаметру штока находится в интервале 1,16 - 1,6. Для рационального проектирования подобных экскаваторов, полезно "зауживать этот интервал вправо" - 1,5 ... 1,7. Кроме того, из-за снижения значения этого отношения, механизм привода ковша экскаватора ЭГ-20 вышли неудачными (и точно - менее качественными чем ЭГ-12А) {отметим, что глядя на численные значения СК экскаватора ЭГ-110 можно предположить, что это неудачная квазикопия с западных машин};

7) Для машин с указанной выше кинематической схемой РО (кроме ЭГ-110) видно, что делались попытки максимальной унификации ГЦ. На наш взгляд, для мощных экскаваторов, этого следует избегать (не следует делать все диаметры одинаковыми; видимо, для начала, надо ориентироваться на естественный рост диаметров от стрелы к ковшу). При этом интерес представляет до сих пор нерешенный однозначно вопрос о том, сколько ГЦ необходимо и достаточно для того или иного ИМ РО (например, а почему бы и не три в механизме привода стрелы? Или, почему бы не устанавливать их, в приводе стрелы, в виде той или иной пространственной конфигурации {а-ля механизмы параллельной структуры}? Почти не исследована тема установки ГЦ штоком вниз) {всё еще представляет и научный, и практический интерес, кстати говоря, и вопрос о последовательном и параллельном включении ГЦ РО};

8) Для отечественных МГЭ с традиционной кинематической схемой РО [8 - 14 и др.] ГП принимает значения из интервала 1,64 ... 3,82. При этом очевидно, что правую границу интервала при создании новых подобных машин следует сильно "заузить влево" - и рассматривать интервал 1,64 ... 1,73;

- 9) Если воспользоваться соотношением вида: $\frac{MAX - MIN}{4}$, то можно получить грубое, весьма приближенное, значение среднего (по всей рабочей зоне) максимального статического усилия на зубьях ковша при стопорении оного в абсолютно жесткое препятствие (при этом использовать надо экстремальные значения усилия для всей машины);
- 10) При отказе от унификации элементов РО мы получаем для каждого ИМ свои СК в части экстремальных значений усилия на штоках ГЦ. Для экскаваторов с первой кинематической схемой РО можно рекомендовать интервал 1,5 ... 2,6;
- 11) С.В. Каверзин отмечал, что отношение площадей поршня и штока ГЦ равное 1,65 характеризует ГЦ с увеличенным штоком, которые обычно выбираются тогда, когда их рабочий ход осуществляется при подаче рабочей жидкости в поршневую полость и шток воспринимает большую нагрузку (также считается, что такой ГЦ обеспечивает большую скорость холостого хода);
- 12) При полномасштабном анализе статической нагруженности МГЭ (на стадии анализа) нельзя рекомендовать использовать обычные формулы для определения усилия на штоке (см. [1, 2, 4 - 7 и многие др.]) - они дают некорректные результаты. Иначе обстоит дело на стадии синтеза, хотя и там масса своих нюансов;
- 13) Геометрические и силовые параметры экскаватора РО ЭГ-6 рациональны для экскаваторов с первой кинематической схемой РО;
- 14) В свою очередь, для отечественных МГЭ имеющих в кинематической схеме РО один параллелограмм [8 - 14 и др.] соотношение диаметра поршня к диаметру штока находится в интервале 1,375 ... 1,6. Тут, особенно для более "свежих" проектов экскаваторов, налицо попытка копировать зарубежные решения. По нашему мнению, "занижение" этого отношения в имеющих место условиях хозяйствования нецелесообразно; лучше ориентироваться на интервал 1,55 ... 1,7. Унификация ГЦ тут также вредна;
- 15) Для данных МГЭ значения ГП находятся в интервале 1,64 ... 2,12. Однако рациональное значение параметра лежит у его левой границы;
- 16) При отказе от унификации в части элементов РО получаем для каждого ИМ свои СК в части экстремальных значений усилий на штоках ГЦ. Однозначно рекомендовать интервал этих значений сложно - однако лучше выбирать для ориентира проекты экскаваторов ЭГ-10 и ЭГ-15 - советские проекты УЗТМ (тем более, что ЭГ-15 тесно связан с ЭГО-8);
- 17) Численные значения экстремальных усилий на штоках ГЦ РО МГЭ с приблизительно одинаковой емкостью ковша должны быть близки. Поэтому вызывает некоторое опасение завышенное значение усилия в стрелоподъемном механизме одного из проектов экскаватора УГЭ-300. Также вызывает опасения и то, что отношения диаметров для одного из проектов этой мощной прямой лопаты лежат в том же интервале, что и у

японских строительных гидравлических экскаваторов обратного копания (см., например, на параметры машин Komatsu-PC200-7 или Hitachi ZX-870) {касается это и ЭГ-110};

18) Выход численного значения ГП за двойку достаточно уверенно указывает на слепое копирование западных машин (что, в свою очередь требует, интенсификации отечественных работ в части анализа усталостной долговечности несущих металлоконструкций и вибраций оных, без чего копирование не перестанет быть слепой лотереей с очевидным итогом);

19) Анализ данных таблицы 1 показывает, что в отечественном экскаваторостроении до сих пор не решен вопрос о том, какой ИМ основной - рукоять или ковш? Также всё еще не решен вопрос о целесообразности разработок мощных экскаваторов прямого и обратного копания на одной базовой машине (тут до сих пор неясно, какой вид РО должен определять проектирование базовой машины и т.д.);

20) Сближение диаметров поршня и штока больше обычного не есть хорошая идея в имеющихся местах условий хозяйствования;

21) Численные значения экстремальных усилий на штоках ГЦ конкретного ИМ, полученные для всех точек рабочей зоны, образуют скалярное стационарное неоднородное поле, являющееся одной из типовых полевых структур, в достаточно полной мере характеризующих конкретное РО и конкретный экскаватор в целом. Структура таких полей имеет в целом одинаковый вид для экскаваторов с одной и той же кинематической схемой РО и спроектированных в рамках одной и той же методологии. Рисунок 1 показывает:

а) разделение поля на три зоны - в двух из которых (левой и правой) указанному значению усилия на штоках цилиндров привода ковша соответствует работа штоковой полостью ГЦ (центральная зона при этом меньше по размеру);

б) разделение рабочей зоны на участки с очень разными численными значениями усилия (и с очень быстрыми перепадами численных значений усилия);

в) значительная амплитуда и знакопеременность нагружения штоков ГЦ ковша;

г) во многих случаях, в частности при копании ковшом, видно недоиспользовании силовых возможностей силовой установки машины из-за "дефектов" ИМ привода ковша у этой машины;

22) Самым важным для гидравлического экскаватора является не тот или иной параметр или их группа, а соотношения ряда параметров (например: диаметров поршня и штока; активного и реактивного давления в гидросистеме и пр., и т.д.). Мощный экскаватор с гидравлическим приводом очень чувствительная машина к таким соотношениям;

23) Изменение диаметров поршня и штока ГЦ в погоне за западными идеями в наших условиях хозяйствования может привести к падению максимально реализуемого статического усилия, что пытаются иногда ком-

пенсировать увеличением значений активного и реактивного давлений, меняя также и соотношение между ними. Имея в виду отмеченную выше чувствительность МГЭ - это только ухудшает ситуацию (на рисунке 2 приведен небольшой фрагмент исследования этого вопроса).

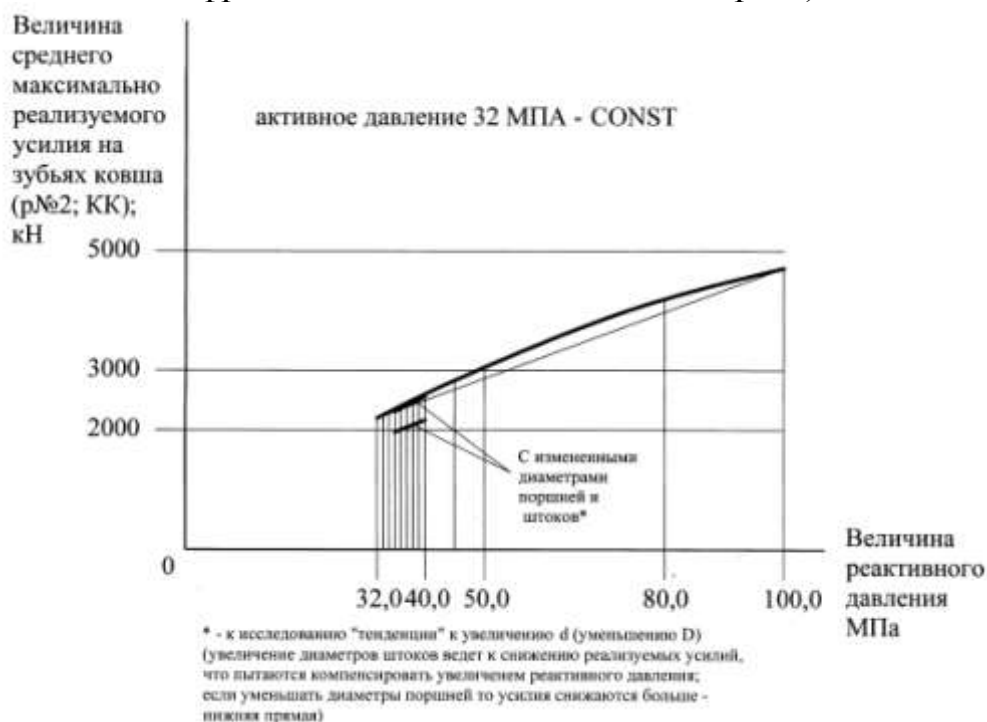


Рис. 2. К исследованию влияния изменения параметров ИМ РО на максимальное (среднее) усилие на зубьях ковша ЭГ-12А

В связи с этим теперь каждый читатель может оценить следующую мысль из диссертации [13, с. 51]: "Если технологи потребуют увеличения усилий копания, то по результатам принимается решение - на каких гидроцилиндрах увеличить максимальное усилие повышением давления или увеличением площади поршня".

Заключение. Проанализирован ряд статических характеристик отечественных одноковшовых МГЭ прямого копания и высказан ряд предложений по теме того, в каких численных диапазонах следует искать их рациональные значения.

Исследования статики это фундамент рационального проектирования и успешного исследования динамических свойств одноковшовых экскаваторов с гидравлическим приводом.

Необходима интенсификация исследований как по созданию отечественных ГЦ на современном уровне развития науки и техники, так и по поиску более рациональных кинематических схем РО МГЭ - например, на основании механизмов П.Л. Чебышева.

Список литературы

1. Бродский Г.С., Козин Г.Ю., Мельников А.С. Современные карьерные одноковшовые гидравлические экскаваторы: обзор. ЦНИИТЭИуголь. М., 1989. 38 с.

2. Штейнцайг В.М. Интенсификация открытых горных работ с применением мощных карьерных одноковшовых экскаваторов. М.: Наука, 1990. 142 с.
3. Мельников Н.Н., Неволин Д.Г., Скобелев Л.С. Технология применения и параметры карьерных гидравлических экскаваторов / Отв. ред. Мельников Н.Н. Апатиты: Кольский научный центр РАН, 1992. 220 с.
4. Комиссаров А.П. Моделирование рычажно-гидравлических механизмов и обоснование перспективных конструкций карьерных гидравлических экскаваторов: Дисс. ... докт. техн. наук. Екатеринбург, 2004. 214 с.
5. Сайдаминов И.А. Обоснование и выбор параметров средств температурной адаптации гидрообъемных трансмиссий карьерного оборудования: Дисс. ... докт. техн. наук. М., 2003. 319 с.
6. Гойхбург В.К., Смоляницкий Э.А. Погрузочное рабочее оборудование отечественных и зарубежных гидравлических экскаваторов. Обзор. ЦНИИТЭстроймаш. М., 1972. 41 с.
7. Brach I. Koparki jednonaczyniowe uniwersalne. Warszawa: WNT, 1973. 442 p.
8. Jakubczak H. Computer aided design of loader work attachment for construction machines. http://www.iaarc.org/publications/fulltext/isarc2001-ACM_11.pdf
9. Lemser D. Hydraulicbagger auf radern oder ketten (Teil 1) // Tiefbau, 2003, № 9. p. 535 - 550.
10. Lemser D. Hydraulicbagger auf radern oder ketten (Teil 2) // Tiefbau, 2004, № 3. p. 142 - 164.
11. Јаношевић Д. Пројектовање мобилних машина. Србије. Ниш: Машински факултет, 2006. 332 с.
12. Kawakami T., Kimoto K., Ohbora Y. Introduction of large hydraulic excavator PC2000-8. Komatsu technical report. Vol. 52 NO 158. 2006. p. 6.
13. Безкоровайный П.Г. Обоснование рациональных параметров рабочего оборудования прямая лопата гидравлического экскаватора: Дисс. ... канд. техн. наук. Екатеринбург, 2025. 140 с.
14. Манипуляторы для мобильных роботов. Концепции и принципы проектирования / В.М. Герасун и др. // Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша. 2012. № 44. 24 с.

УДК 621.879

ОБ ИТОГАХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭКСКАВАТОРОВ

Побегайло П.А.¹ к.т.н.

¹ - Независимый исследователь, Москва, РФ

Кратко представлены некоторые основные текущие результаты исследований статике и геометрии рабочего оборудования одноковшовых гидравлических экскаваторов с разными видами рабочего оборудования. Этот корпус исследований нацелен на применение как при проектировании, на его ранних стадиях, так и в условиях эксплуатации - в рамках создаваемой системы экспресс диагностики карьерных экскаваторов.

Ключевые слова: одноковшовые гидравлические экскаваторы; статика экскаватора; рабочее оборудование; механизм привода ковша; критерии качества

SOME RESULTS OF THE STUDY OF THE ELEMENTS OF THE WORKING EQUIPMENT OF EXCAVATORS WITH HYDRAULIC DRIVE

Pobegailo P.A.

This paper briefly presents some of the main current results of our research on the statics and geometry of the working equipment of single-bucket hydraulic excavators with different types of working equipment. This body of research is aimed at application both in the design, at its early stages, and in operating conditions - within the framework of the express diagnosis system of quarry excavators that we are creating.

Keywords: hydraulic excavators; excavator statics; working equipment; bucket drive mechanism; quality criteria

Введение. В последние годы наше внимание было во многом сосредоточено на исследовании рабочего оборудования (РО) одноковшовых гидравлических экскаваторов (ОГЭ) прямого и обратного копания. При этом был выявлен корпус важных и до конца не снятых вопросов, имеющих отношение не только к проектированию ОГЭ, но и к их эксплуатации. Эти проблемные точки - входя в обязательную часть теоретического фундамента системы "экспресс - диагностики и управления" состоянием карьерных экскаваторов в условиях их использования (поддержания их гомеостаза) - требуют своего скорейшего снятия.

Например, к числу таких вопросов относится значительная научная проблема (и научная задача) оценки максимальной статической нагруженности ОГЭ (которая в реальности существенно расширяется, захватывая в себя еще ряд важнейших теоретических и практических областей и тем).

При этом важным и характерным нюансом научной задачи (научной проблемы) является неизбежность и необходимость разработки различных технических и теоретических средств (методов; подходов; взглядов) для её решения как при непосредственном проектировании – для этапов синтеза, анализа и оценки качества (рефлексии) итогов этапа (стадии); так и для условий собственно производства, эксперимента и эксплуатации – где для последних применение более сложных и точных моделей существенно затруднено. Отдельная модель (а лучше их обоснованная цепочка) нужна

также и при разработке системы управления машиной (не будет она лишней и на борту работающей машины).

Иными словами, автором в последнее время построено несколько различных физических моделей, позволяющих оценивать статическую нагруженность ОГЭ (и ряда прочих характеристик) – которые должны применяться взаимосвязано, но каждая в четко очерченной и допустимой конкретной проблемно-ориентированной области.

Основной текст. Наиболее интересные результаты, обсуждаемых сейчас, исследований состоят в следующем.

1) Для условий раздельного копания разработаны различные методы синтеза и анализа как отдельных элементов РО, так и РО в целом (для различных кинематических схем). Это осуществлено автором для ОГЭ прямого и обратного копания с традиционным и нетрадиционным РО;

2) При этом автором произведен детальный анализ основной физической модели оценки статической нагруженности, что позволило ввести понятие эллипсов нагружения, а также выдвинуть гипотезу о том, что качество (эффективность) РО ОГЭ в значительной мере определяется степенью нарушения некоторых симметрий. Кроме этого, стало очевидно, что рабочая зона ОГЭ может быть рассмотрена как поле (его природа и свойства зависят от конкретной ситуации), а её точки имеют вполне определенные свойства (а также и тип) {заметим, что точка рабочей зоны содержит в себе в некотором свернутом виде достаточный набор характеристик всей машины, и может рассматриваться как та самая клеточка анализа (К. Маркс); извлечь из точки скрытые в ней данные - одна из основных задач исследователя и инженера; при этом полезно двигаться по связке "точка - линия - плоскость - объем"};

3) На базе анализа плоского четырехзвенного механизма привода ковша прямой гидравлической лопаты ЭГ-12А, автором введены и проиллюстрированы различные критерии оценки его качества (эффективности), позволяющие оценивать его состояние как при проектировании (на этапе синтеза элементов РО), так и при непосредственной эксплуатации. Попутно автором построена и соответствующая физическая модель для оценки статической нагруженности. Привязка к конкретному механизму и машине не снижает общности и полноты полученных результатов;

4) Полезными критериями в этом случае выступили силовые и кинематические передаточные функции (тут необходимо отметить значительный вклад в общее предметное Знание нашего учителя - профессора А.П. Комиссарова);

5) Информативными и полезными являются некоторые коэффициенты, например: динамичности, асимметрии, неравномерности движения, неравномерности нагруженности и др., а также "относительная" характеристика гидроцилиндра;

6) Указанная модель позволяет дополнительно определять многие иные характеристики РО – в частности, скорости и ускорения его звеньев и

некоторых важных точек (чего никогда еще не делалось в нашей стране в условиях проектирования ОГЭ, особенно карьерных);

7) Впервые введены понятия скоростного и силового потенциала ОГЭ – фактического и теоретического (они тесно связаны с понятиями фактической и теоретической рабочей зоны ОГЭ);

8) Силовой поток после "перехода" от гидроцилиндров к ковшу значительно "уменьшается" – тем самым указывая на то, что механизм привода ковша это редуктор. При этом очевидно, что любое практически существующее РО и/или экскаватор заведомо неэффективны - однако важна степень этой неэффективности (граница между допустимым и недопустимым);

9) Площадь некоторых графиков, полученных автором, можно рассматривать как работу (например, затрачиваемую на копание), что весьма полезно;

10) Предложена оценка единичного синтезированного варианта привода ковша по значению фактического энергетического запаса механизма, который должен быть выше некоторой константы;

11) Впервые в мире автор, на модельном примере, достаточно детально показал то, как и чем ограничивается реализация максимального реализуемого усилия на зубьях ковша при раздельном копании и при стопорении его в абсолютно жесткое непреодолимое препятствие. Автор вывел несколько теорем, указывающих экстремальные границы существования указанного усилия;

12) Показана недопустимость и бессмысленность локальной оптимизации для единичного рабочего исполнительного механизма РО ОГЭ в условиях реального проектирования. Рассматривать и оптимизировать их следует только совместно (любые иные постановки могут быть важны и любопытны лишь для ряда академических задач);

13) Автор впервые предложил и достаточно подробно рассмотрел одну из возможных эвристик для сокращения объема вычислений при анализе статической нагруженности ОГЭ. Выявлен минимально допустимый размер расчетной сетки при рассмотрении всей рабочей зоны карьерного ОГЭ;

14) Исследован и процесс копания ковшом на уровне стоянки прямой гидравлической лопаты – и с точки зрения поведения его геометрических и силовых параметров, и с точки зрения введения дополнительных характеристик качества (на базе частотного анализа);

15) Достаточно полно изучен вопрос поведения усилий на штоках всех гидроцилиндров РО при копании ковшом, а также характер изменений рабочих давлений (введены понятия "статической константы", статического "портрета" и "главного" параметра);

16) Рассмотрен ряд частных вопросов важных при создании ОГЭ – например, вопрос того, как следует раскладывать усилие копания – на горизонтальную и вертикальную составляющую или как-то еще, и т.д.;

17) Показана возможность применения методов гармонического анализа при анализе статической нагруженности РО ОГЭ – что дает полезный материал и для синтеза как РО и его элементов, так и системы управления ОГЭ, которая является основой для теории роботизации в будущем;

18) Выяснилось, что важны не сами по себе параметры РО ОГЭ, а ряд их сложных соотношений (например, значение т.н. вурфа), кардинальным образом меняющих "портрет" машины при незначительных изменениях своих численных значений (ОГЭ оказывается в ряде случаев очень "чувствительной" машиной). Это значительно повышает требования к качеству и полноте проектных работ, делает их куда сложнее (при этом надо понимать, что экскаваторы созданные на одной базе, но с разными видами РО (типа связки ЭГ-15 и ЭГО-8 УЗТМ), никогда не будут оптимальными, как не будет оптимальным и любой модернизируемый экскаватор - ибо часто простая модернизация требует на самом деле проектирования всей машины заново);

19) Для РО ОГЭ обратного копания найдена наилучшая кинематическая схема – до сих пор в стандартных ОГЭ не применяемая.

Заключение. Представлены некоторые наиболее интересные и важные результаты по исследованию РО ОГЭ. Эти исследования направлены как на создание теоретического фундамента "системы экспресс диагностики и управления" карьерными экскаваторами с разным типом привода и видом РО, так и на расширение наших знаний про такие машины и механизмы. В завершении заметим, что важнейшей частью и глубинной сутью исследований является их принципиальное, имманентное качество – органическая взаимосвязь с информационными технологиями, биологией (биомеханикой) и философией, без чего создание совершенных машин и механизмов третьего тысячелетия немыслимо!

УДК 622.232

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПЕРФОРАТОРА

Кызыров К.Б., проф., **Решетникова О.С.**, и.о. доцента, **Ашимбаев Д.А.**, докторант
Карагандинский технический университет им. А.Сагинова, г. Караганда, Казахстан

Статья посвящена обоснованию выбора конструктивной схемы гидравлического перфоратора, отвечающей требованиям выполнения основного технологического назначения – передачи заданной энергии и частоты ударов при максимально упрощенной структуре с достаточно высокой эффективностью энергопреобразования, обеспечивающей технологичность, надежность, компактность конструкции.

Ключевые слова: гидроперфоратор, гидравлический ударный механизм, структурообразование, структурный синтез.

RATIONALE FOR THE CHOICE OF THE DESIGN DIAGRAM OF A HYDRAULIC PERFORATOR

Kyzyrov K.B., Reshetnikova O.S., Ashimbaev D.A.

The article is devoted to the substantiation of the choice of the design scheme of a hydraulic perforator that meets the requirements for the implementation of the main technological purpose - the transfer of a given energy and frequency of impacts with a maximally simplified structure with a sufficiently high efficiency of energy conversion, ensuring manufacturability, reliability, and compactness of the design.

Keywords: hydraulic perforator, hydraulic impact mechanism, structure formation, structural synthesis.

Перспективность применения гидроперфораторов в горнодобывающей промышленности в настоящее время убедительно доказана. В связи с этим целесообразно сосредоточить усилия на решении вопросов оптимального структурного и динамического синтеза гидравлических ударных механизмов (ГУМ), как наиболее сложных и ответственных элементов буровых агрегатов. Опыт эксплуатации гидроперфораторов показывает, что функциональная надежность элементов - ударно-поршневой группы, блока управления, стабилизаторов высокого и низкого давлений ограничена, всего 500-1000 моточасов.

В настоящее время в горнодобывающей промышленности, строительстве и ремонте транспортных магистралей, добыче строительного камня применяются гидроперфораторы с идентичными конструктивной схемой и принципом работы. В основе их конструкций можно выделить основные структурные элементы: ударно-поршневую группу; блок управления; стабилизаторы высокого и низкого давлений; инструмент [1,2]. Все эти элементы конструкции работают согласованно, но при этом испытывают высокие динамические нагрузки, они технологически сложны в изготовлении вследствие предъявляемых высоких требований по точности, герметичности, качеству материалов и технологии поверхностного упрочнения [3]. В связи с этим особую актуальность приобретают вопросы создания ударного механизма, обеспечивающего эффективный цикл импульсного энергопреобразования, дешевизну и технологичность в отличие от зарубежных,

имеющих сложную систему распределения жидкости, высокие требования к технологии изготовления с применением дорогостоящих материалов.

Созданию новой конструкции гидроперфоратора предшествуют исследования в области выбора конструктивной схемы ударного механизма, отвечающей требованиям технологичности и эффективности работы. Для выбора схемы был применен структурный синтез гидравлических ударных механизмов (ГУМ), использующий основные положения метода функционального структурообразования, включающего следующие этапы: 1) выделение исследуемого объекта; 2) определение его основного функционального назначения; 3) деление объекта на структурные элементы; 4) получение структурных формул; 5) реализация формул в конструктивные схемы; 6) выбор оптимальной конструктивной схемы [4,5].

Необходимыми структурными (функциональными) элементами ударного механизма являются (рисунок 1):

- ударная масса M (боек), воспринимающая переменное приводное усилие в соответствии с фазами рабочего цикла, заканчиваемого созданием ударного импульса на инструменте;
- вытеснители B_1 и B_2 , обеспечивающие силовую связь между жидкостью и ударной массой M , изменение объема жидкости в камерах A и B и выполняющие роль источника приводного усилия;
- клапаны K_i , выполняющие функции энергоснабжения рабочих камер, распределительного устройства, обеспечивающего движение вытеснителей в заданных направлениях и последовательности.

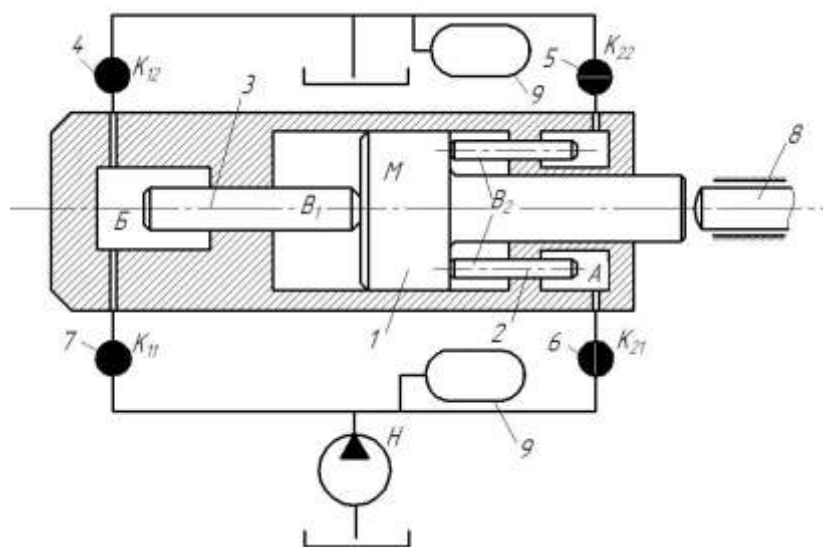


Рис. 1. Структура гидравлического ударного механизма:

1 – боек; 2 – вытеснители B_2 ; 3 – вытеснитель B_1 ; 4-7 – клапаны K_{11} , K_{12} , K_{21} , K_{22} ; 8-инструмент; 9 – стабилизаторы высокого и низкого давлений

Принцип действия ГУМ заключается в следующем. При открытии клапанов впуска K_{21} и выпуска K_{12} рабочая жидкость поступает в камеру холостого хода A , воздействуя на вытеснители B_2 . Боек движется влево от точки удара с инструментом на величину рабочего хода h , совершая холостой ход. Перемещение должно быть безударным, экономичным, за огра-

ниченный промежуток времени $t_{x,x}$. При открытии клапанов впуска K_{11} и выпуска K_{22} рабочая жидкость поступает в камеру рабочего хода Б, воздействуя на рабочую поверхность вытеснителя B_1 , который передает усилие бойку, движущемуся до соударения с инструментом 8. Происходит рабочий ход – разгон бойка до скорости соударения с инструментом $v_{уд}$ за время $t_{p,x}$ и преобразование кинетической энергии $\frac{M \cdot v_{yo}^2}{2}$ в ударный импульс на инструменте, достаточный для эффективного разрушения.

Системообразующими связями между функциональными элементами ГУМ являются кинематическая, которая обеспечивает объединение функциональных элементов в единую систему для выполнения заданной функции, и конструктивная, позволяющая совместить две или несколько функций в одном элементе при сохранении работоспособности системы.

Процесс получения структурных формул, представляющих различное сочетание кинематических и конструктивных связей функциональных элементов, называется структурообразованием, в результате которого могут быть получены полные структуры, содержащие все функциональные элементы для обеспечения рабочего цикла и неполные структуры, у которых часть функциональных элементов, не передавая своих функций другим элементам, вырождается [4,5]. Метод вырождения или замещения функций может быть реализован следующими способами: 1) вырождение элементов K_{21} и K_{22} органа управления камеры холостого хода; 2) вырождение элементов K_{11} и K_{12} органа управления камеры рабочего хода; 3) комбинированное вырождение элементов.

Таким образом, используя принятые символы элементов и условные обозначения связей, можно составлять формулы структур ГУМ, отображающие состав и характер связей между элементами. Различное сочетание конструктивных и кинематических связей с элементами приводит к образованию групп клапанных $[M + B_1 + B_2 + K_{11} + K_{12} + K_{21} + K_{22}]$ (1), бесклапанных $[M \cdot B_1 \cdot B_2 \cdot K_{11} \cdot K_{12} \cdot K_{21} \cdot K_{22}]$ (2) и комбинированных $[M + B_1 \cdot K_{11} \cdot K_{12} + B_2 + K_{21} + K_{22}]$ (3) структур ударных механизмов.

Формулы (1) – (3) и определяют структуры схем ГУМ.

Отличительной особенностью клапанных ГУМ является отсутствие связей совмещения между ударной массой, вытеснителями и клапанами. Для бесклапанных ГУМ наоборот характерно наличие связей совмещения между клапанами и остальными элементами. Особенность комбинированных ГУМ состоит в том, что часть клапанов функционально совмещена с ударной массой и вытеснителями, а часть функционирует автономно. Для конструктивной реализации и выбора оптимальной структуры в дальнейшем структурообразование рассмотрено на примере бесклапанных ударных механизмов или механизмов с совмещенным органом управления как наиболее перспективных и универсальных ГУМ.

Структурообразование позволяет получить целый ряд формул структур ГУМ с совмещенным органом управления, у которых функции клапа-

нов впуска и выпуска выполняют боек и вытеснители. Для приведения в действие клапанов впуска и выпуска камер рабочего и холостого ходов можно использовать как возвратно-поступательное перемещение бойка и вытеснителей, так и другие движения (вращательное, поворотное и др.) Первый вариант приводит к образованию автономных механизмов, работоспособность клапанов в которых обеспечивается самой системой без дополнительных элементов. Второй случай приводит к образованию механизмов, работа клапанов в которых обеспечивается за счет дополнительных элементов, например, гидромотора для вращения ударной массы [1,5].

Для осуществления принципа конструирования схем ГУМ с совмещенным органом управления необходимо, чтобы камеры рабочего и холостого ходов, кроме замкнутости и изменяемости рабочего объема, обладали упругими свойствами, необходимыми для запоминания и поддержания в течение определенного времени гидравлических сигналов. При работе ГУМ рабочая камера должна запомнить гидравлический сигнал (давление) при соединении ее клапаном впуска с напорной линией и сопровождать движение бойка до подачи следующего сигнала, возможного вследствие соединения клапаном выпуска рабочей камеры со сливной магистралью. В качестве устройства памяти может быть применена гидравлическая емкость, обеспечивающая дополнительные упругие свойства в рабочей камере за счет сжимаемости жидкости.

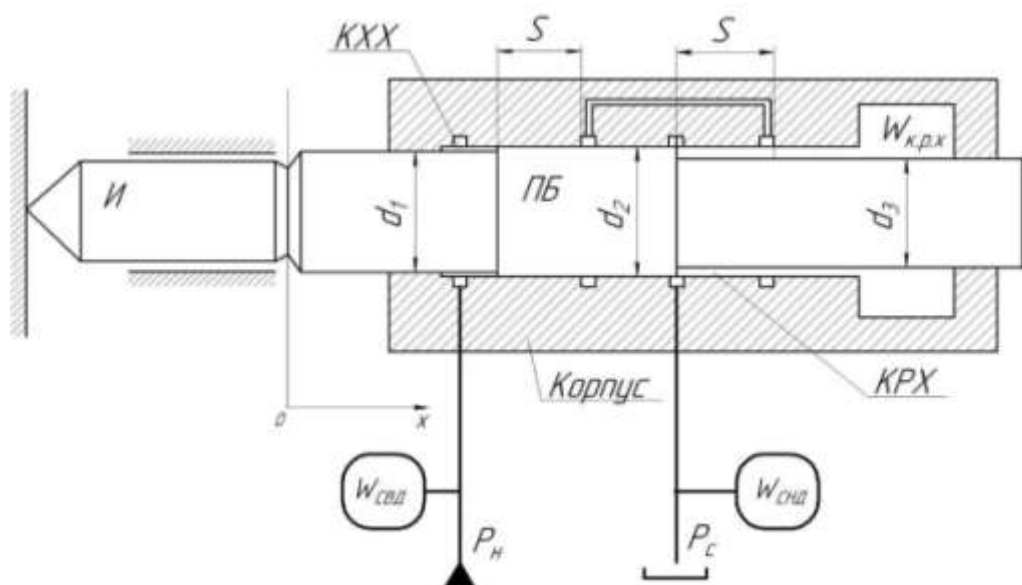


Рис. 2. Конструктивная схема гидроперфоратора с совмещенным органом управления

Таким образом, в результате проведенного структурного анализа ГУМ, выявлена возможность реализации упрощенной структурной схемы с совмещенным органом управления при использовании в рабочих камерах эффекта гидравлической пружины (рисунок 2).

В начальный момент времени задняя управляющая кромка поршня-бойка ПБ соединяет камеру $W_{КРХ}$ со сливной линией, а камера холостого хода соединена с напорной линией через стабилизатор высокого давления

$W_{\text{СВД}}$. За счет дисбаланса сил ПБ движется вправо, сжимая отсеченный объем камеры $W_{\text{КРХ}}$ и совершает первую фазу рабочего цикла – холостой ход, равный S . При этом давление в камере КРХ повышается. Передняя управляющая кромка ПБ соединяет камеру $W_{\text{КРХ}}$ со стабилизатором $W_{\text{СВД}}$, и происходит фаза впуска, и давление в камере $W_{\text{КРХ}}$ растет до давления насосной станции.

Возникает неравновесное состояние, при котором ПБ ускоренно движется влево, реализуя энергию сжатой пружины и совершая следующую фазу – рабочий ход. Рабочий ход завершается преобразованием кинетической энергии ударной массы в энергию удара по инструменту И. В момент удара задняя управляющая кромка ПБ соединяет камеру КРХ со сливной линией через стабилизатор низкого давления $W_{\text{СНД}}$. Происходит последняя фаза рабочего цикла – выпуск жидкости. Давление в КРХ уменьшается до нуля. Возникает дисбаланс сил и цикл повторяется.

Таким образом, структурный синтез ГУМ позволил произвести выбор оптимальной конструктивной схемы гидроперфоратора, удовлетворяющей требованиям поставленной задачи.

Список литературы

1. Митусов А. А. Двухтактные гидродвигатели ударного действия: Основы теории и расчет. Монография. - Россия, Санкт-Петербург, Изд-во Политехн. университета, 2013. – 392 с.
2. Ушаков Л.С., Котылев Ю.Е., Кравченко В.А. Гидравлические машины ударного действия. - М.: Изд-во Машиностроение, 2000. - 416 с.
3. Zhukov I.A., Martyushev N.V., Zyukin D.A. et al. (2023) Modification of hydraulic hammers used in repair of metallurgical units, *Metallurgist*, 66:1644–1652. DOI: 10.1007/s11015-023-01480-w (in Eng.).
4. Солод В.И., Топчиев А.В. Расчет производительности выемочных комплексов и агрегатов. М.: Недра, 1968. – 79 с.
5. Нерозников Ю.И. Гидравлический привод бурильных машин ударного действия. Караганда: КарПТИ, 1979. – 91 с.

УДК 622.23

УЛУЧШЕНИЕ ОБЗОРНОСТИ КАБИНЫ МАШИНИСТА КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА

Седошенко¹ А.М., аспирант, Лагунова^{1,2} Ю.А., проф., д.т.н.,

¹ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, РФ

²ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ

Рассмотрены актуальные проблемы, связанные с ограниченным обзором из кабины машиниста карьерного экскаватора, и предложены инженерные решения для их устранения. Проведен анализ существующих конструкций кабин, выявлены основные факторы, влияющие на ухудшение видимости, и предложены методы улучшения обзора с использованием современных технологий. Результаты исследования могут быть применены для повышения безопасности и эффективности работы карьерных экскаваторов.

Ключевые слова: карьерный экскаватор, обзор кабины, безопасность, эргономика, современные технологии.

IMPROVING THE VISIBILITY OF THE DRIVER'S CABIN OF A MINING EXCAVATOR

Sedoshenko A.M., Lagunova Yu.A.

The article discusses the current problems associated with a limited view from the driver's cabin of a mining excavator, and suggests engineering solutions to eliminate them. An analysis of existing cabin designs has been carried out, the main factors influencing the deterioration of visibility have been identified, and methods for improving visibility using modern technologies have been proposed. The results of the study can be applied to improve the safety and efficiency of mining excavators.

Keywords: mining excavator, cabin overview, safety, ergonomics, modern technologies.

Карьерные экскаваторы являются ключевым оборудованием в горнодобывающей промышленности. Одной из важнейших задач при проектировании и эксплуатации таких машин является обеспечение безопасности и комфорта машиниста. Одним из факторов, влияющих на безопасность, является качество обзора из кабины. Ограниченная видимость может привести к ошибкам оператора, авариям и снижению производительности.

Современные карьерные экскаваторы оснащены кабинами, которые обеспечивают базовый уровень обзора. Однако существуют несколько факторов, ограничивающих видимость:

1. Конструктивные особенности кабины (широкие стойки, низкое расположение окон);

2. Накопление грязи и пыли на стеклах;

3. Отсутствие систем дополнительного обзора (камеры, датчики).

Эти факторы снижают эффективность работы машиниста и увеличивают риск возникновения аварийных ситуаций.

Предлагаемые решения улучшения обзорности изложены ниже.

1. Оптимизация конструкции кабины.

Для улучшения обзора предложено пересмотреть конструкцию кабины, уделив особое внимание следующим аспектам:

1.1. Увеличение площади остекления (рис. 1). Применение панорамных стекол и увеличение высоты окон позволят расширить угол обзора. Это особенно важно для работы в карьерах, где требуется контроль за окружающей средой.

1.2. Уменьшение ширины стоек. Широкие стойки кабины создают "мертвые зоны", которые ограничивают видимость. Для решения этой проблемы предложено использовать высокопрочные материалы, такие как алюминиевые сплавы или композиты, позволяющие уменьшить ширину стоек без потери прочности.

2. Использование современных технологий

2.1. Системы камер кругового обзора (рис. 2). Установка камер по периметру экскаватора с выводом изображения на мониторы внутри кабины позволяет устранить "мертвые зоны". Камеры могут быть оснащены инфракрасной подсветкой для работы в условиях плохой видимости (ночью или в тумане).



Рис. 1. Кабина с панорамным остеклением



Рис. 2. Расположение камер кругового обзора

2.2. Датчики и системы предупреждения о препятствиях (рис. 3). Ультразвуковые или лазерные датчики могут быть установлены на корпусе экскаватора для обнаружения препятствий. При приближении к объекту система подает звуковой или визуальный сигнал машинисту.

2.3. Применение прозрачных дисплеев на лобовом стекле (технология HUD) (рис. 4), которые отображают ключевые параметры работы экскаватора и накладывают виртуальные метки на окружающую среду, помогая оператору точнее ориентироваться. Проекцию на лобовое стекло обеспечивают светодиодный дисплей с крепежными элементами для крепления на приборной доске и специальной тонкой пленки, наносимой на стекло для проявления изображения. Среди новинок в области внутреннего тюнинга автомобиля проекторы на лобовое стекло относятся к наиболее удобным и функциональным.



Рис. 3. Схема работы системы предупреждения о препятствиях



Рис. 4. Пример расположения информации с дисплея на лобовом стекле кабины

Предложенные решения были проанализированы с точки зрения их эффективности и экономической целесообразности. Оптимизация конструкции кабины позволяет улучшить обзор без значительного увеличения стоимости производства. Использование камер и датчиков повышает безопасность, но требует дополнительных инвестиций.

Улучшение обзора кабины машиниста карьерного экскаватора является важной задачей, которая способствует повышению безопасности и эффективности работы. Предложенные решения, включая оптимизацию конструкции кабины, использование современных технологий и улучшение защиты стекол, позволяют значительно улучшить видимость и снизить риск аварий. Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку интегрированных систем обзора с использованием искусственного интеллекта.

Список литературы

1. Сатовский Б.Н. Современные карьерные экскаваторы / Б.Н. Сатовский – М.: Недра, 2014. – 258 с.
2. Mahdi Ramezani; Shahram Tafazoli Using Artificial Intelligence in Mining Excavators: Automating Routine Operational Decisions 2020.
3. Кубачек В.Р. Основы проектирования горных машин [Текст]: Учеб. пособие. - Свердловск: СГИ, 1979. - 75 с. : ил.;

УДК 622.232.8

МОБИЛЬНЫЙ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩИЙ АГРЕГАТ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ПЛОЩАДИ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НА ЛОКАЛЬНЫХ УЧАСТКАХ

Д. С. Грибов¹, аспирант, И. Х. Тюбеев², аспирант, Д. А. Ситников², аспирант,
К. А. Просовский¹, аспирант, А. В. Сенькин², аспирант

¹ АО «ВНИИ ГАЛУРГИИ», г. Санкт-Петербург, Россия

² ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь, Россия

Рассмотрены вопросы, связанные с защитой от затопления горных выработок соляных рудников. Указано, что для ликвидации водопритоков в подземные горные выработки используют гидроизоляционные перемычки, однако их возведение характеризуется высокой трудоемкостью и значительными временными затратами ввиду отсутствия средств механизации для выполнения данных работ. Предложен мобильный породоразрушающий агрегат, позволяющий снизить трудоемкость работ по созданию ниши для возведения гидроизоляционных перемычек.

Ключевые слова: гидроизоляционная перемычка, ликвидация водопритоков, горная выработка, породоразрушающий агрегат, ниша для возведения гидроизоляционной перемычки.

MOBILE ROCK-CRUSHING UNIT FOR INCREASING THE CROSS-SECTIONAL AREA OF MINE WORKINGS IN LOCAL AREAS

D. S. Gribov, I. H. Tyubeev, D. A. Sitnikov, K. A. Prosovskii, A. V. Senkin

the issues related to protection from flooding of mining operations of salt mines are considered. It is indicated that waterproofing bridges are used to eliminate water flows into underground mine workings, however, their construction is characterized by high labor intensity and significant time costs due to the lack of mechanization facilities to perform these works. A mobile rock-crushing unit is proposed to reduce the complexity of work on creating niches for the construction of waterproofing bridges.

Keywords: waterproofing lintel, elimination of water flows, mining, rock-destroying unit, niche for the construction of waterproofing lintels.

При разработке калийных месторождений подземным способом наиболее серьезной аварийной ситуацией является затопление горных выработок или рудника в целом вследствие внезапных прорывов пресных вод или ненасыщенных растворов, легко растворяющих калийные соли. При этом, как показывает практика, ликвидировать возникший приток чаще всего не удастся [1].

Вопросы ликвидации внезапных прорывов воды и ненасыщенных рассолов в подземные горные выработки не остаются без внимания исследователей. Так в работе [2] описаны основные способы ликвидации водопритоков в подземные горные выработки, к числу которых относят гидроизоляцию пройденных горных выработок, путем возведения гидроизоляционных перемычек.

На сегодняшний день известно множество конструкций гидроизоляционных перемычек. Для возведения большинства таких перемычек необходимо на локальных участках увеличивать площадь поперечного сечения горных выработок, что ввиду отсутствия специальных агрегатов для выполнения данной операции характеризуется высокой трудоемкостью и

значительными временными затратами. Таким образом, разработка конструкции породоразрушающего агрегата для создания ниш при возведении гидроизоляционных перемычек является актуальной задачей.

Авторами разработана и запатентована конструкция мобильного породоразрушающего агрегата для строительства гидроизоляционных перемычек (рис. 1) [3].

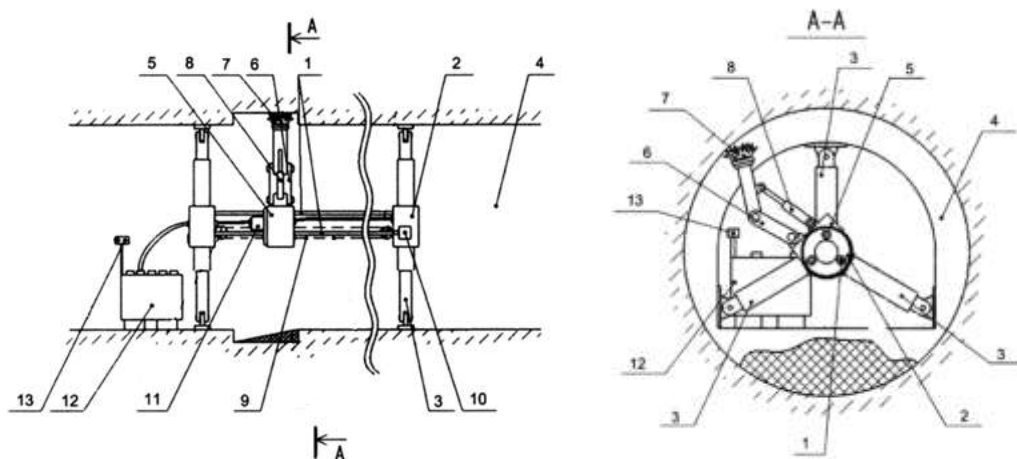


Рис. 1. Мобильный породоразрушающий агрегат

Мобильный породоразрушающий агрегат содержит продольные направляющие 1 с двумя приспособлениями для крепления 2, каждое из которых выполнено в виде конструкции из гидравлических стоек 3, с возможностью раздвижки в радиальном направлении до упора в стенки выработки 4.

На продольных направляющих между гидравлическими стойками установлена каретка 5 с возможностью перемещения вдоль направляющих 1. На каретке установлен манипулятор 6 с закрепленным на нем породоразрушающим исполнительным органом 7, выполненном в виде резцовой коронки, с возможностью совершения вращательных движений вокруг продольных направляющих 1 и позиционирования относительно поверхности горной выработки посредством гидроцилиндра распора 8.

Механизм перемещения 9 с приводом 10 обеспечивает поступательное перемещение каретки 5 с закрепленным манипулятором 6 и породоразрушающим исполнительным органом 7 вдоль направляющих 1. Вращение манипулятора 6 с породоразрушающим исполнительным органом 7 вокруг каретки 5 и направляющих 1 осуществляется приводом 11. Гидравлическая энергия для привода 10 механизма перемещения 9, гидроцилиндра распора 8 манипулятора 6 и привода 11 вращения манипулятора 6 подается насосной станцией 12 с системой управления 13.

При строительстве гидроизоляционной перемычки в выработке 4 устанавливают мобильный породоразрушающий агрегат.

Для позиционирования породоразрушающего исполнительного органа 7 и введения его в контакт с забоем подают рабочую жидкость в

поршневую полость гидроцилиндра распора 8 манипулятора 6. Затем включают подачу рабочей жидкости к приводу вращения 11, за счет чего осуществляется вращение манипулятора 6 вокруг каретки 5 и продольных направляющих 1.

Путем подачи рабочей жидкости к приводу 10 механизма перемещения 9 осуществляется поступательное перемещение каретки 5 с закрепленным манипулятором 6 и породоразрушающим исполнительным органом 7 вдоль направляющих 1. Сочетание двух движений – вращения манипулятора вокруг каретки и поступательного перемещения каретки вдоль направляющих – позволяет породоразрушающему исполнительному органу совершать движение по траектории пространственной спирали, тем самым разрушать горные породы, при этом локально увеличивая площадь сечения выработки 4.

Таким образом, применение описанного устройства позволит снизить трудоемкость выполнения работ при создании ниш для возведения гидроизоляционных перемычек в целях перекрытия пройденных горных выработок в калийных рудниках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шемет С. Ф., Шутин С. Г. Защита калийных рудников от рассолопритоков // Горный журнал. 2014. №2. С. 36-40.
2. Калмыков Е. П. Борьба с внезапными прорывами воды в горные выработки. — М.: Недра, 1973. — 240 с.
3. Патент 2832727 Российская Федерация, МПК E21C25/08 (2006.1), E21C31/00 (2006.1). Мобильный породоразрушающий агрегат: №2024112011; заявлено 02.05.2024; опубликовано 28.12.2024 / Д. И. Шишлянников, К. А. Просовский, Д. С. Грибов, И. Х. Тюбеев, Д. А. Ситников; заявитель АО «ВНИИ ГАЛУРГИИ». Бюл. №1. – 12 с.

УДК 622.8:622.83

ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ УГЛЯ В СЛОЖНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Нокина Ж.Н., PhD, и.о. доцента, **Бейсембаев К.М.**, д.т.н., доцент,
Акижанова Ж.Т. докторант ОП «Горное дело»

Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова,
г. Караганда, Казахстан

В статье рассматриваются современные технологии добычи угля в сложных горно-геологических условиях. Основное внимание уделено применению технологии добычи угля короткими забоями с использованием поворотных конвейеров и моделированию напряженно-деформированного состояния массивов горных пород с помощью программных комплексов Adams и Ansys. В статье представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований, направленных на повышение эффективности и безопасности угледобычи. Предложенные решения позволяют минимизировать потери угля и оптимизировать производственные процессы в сложных горно-геологических условиях месторождений.

Ключевые слова: добыча угля, короткозабойная технология, поворотный конвейер, моделирование напряженно-деформированного состояния, горные породы, программные комплексы Adams и Ansys, эффективность угледобычи, горно-геологические условия.

EFFICIENT COAL MINING TECHNOLOGIES IN COMPLEX GEOLOGICAL CONDITIONS

Nokina Zh.N., Beysembaev K.M., Akizhanova Zh.T.

The article discusses modern coal mining technologies in complex geological and mining conditions. The main focus is on the application of short-face coal mining technology using turning conveyors and modeling the stress-strain state of rock masses using the Adams and Ansys software packages. The article presents the results of theoretical and experimental studies aimed at improving the efficiency and safety of coal mining. Proposed solutions allow minimizing coal losses and optimizing production processes in complex geological and mining conditions of deposits.

Keywords: coal mining, short-face technology, turning conveyor, stress-strain modeling, rock masses, Adams and Ansys software, coal mining efficiency, geological and mining conditions.

Современная горнодобывающая промышленность сталкивается с задачей эффективного освоения месторождений угля в сложных горно-геологических условиях. Значительная часть угольных запасов Казахстана сосредоточена в труднодоступных местах с нестабильной структурой пород и геологическими нарушениями, где традиционные механизированные технологии оказываются неэффективными и небезопасными [1]. Текущие методы разработки часто приводят к значительным потерям угля и повышению затрат, делая добычу экономически нецелесообразной.

Отсутствие комплексных технологий для разработки труднодоступных угольных пластов остается острой проблемой. Традиционные методы, такие как длинно-столбовая система отработки (ДСО), непригодны в условиях сложной конфигурации пластов и нестабильных массивов. Жесткие законодательные требования к полноте извлечения угля зачастую не учитывают экономические и технические ограничения, что приводит к накоплению трудноизвлекаемых запасов и значительным потерям в процессе эксплуатации шахт.

Целью исследования является повышение эффективности добычи полезных ископаемых в сложных условиях путем применения короткозабойной камерной технологии с поворотным конвейером. Анализ показал, что традиционные методы разработки угольных пластов малоэффективны в сложных условиях. Короткозабойные камерные технологии позволяют оптимизировать процесс выемки и повысить эффективность добычи за счет применения поворотного конвейера, что подтверждается отечественным и зарубежным опытом [3].

Для оценки устойчивости горных пород и оптимизации параметров короткозабойной технологии было проведено моделирование горного давления с использованием программных комплексов Ansys и Adams (Рисунок 1).

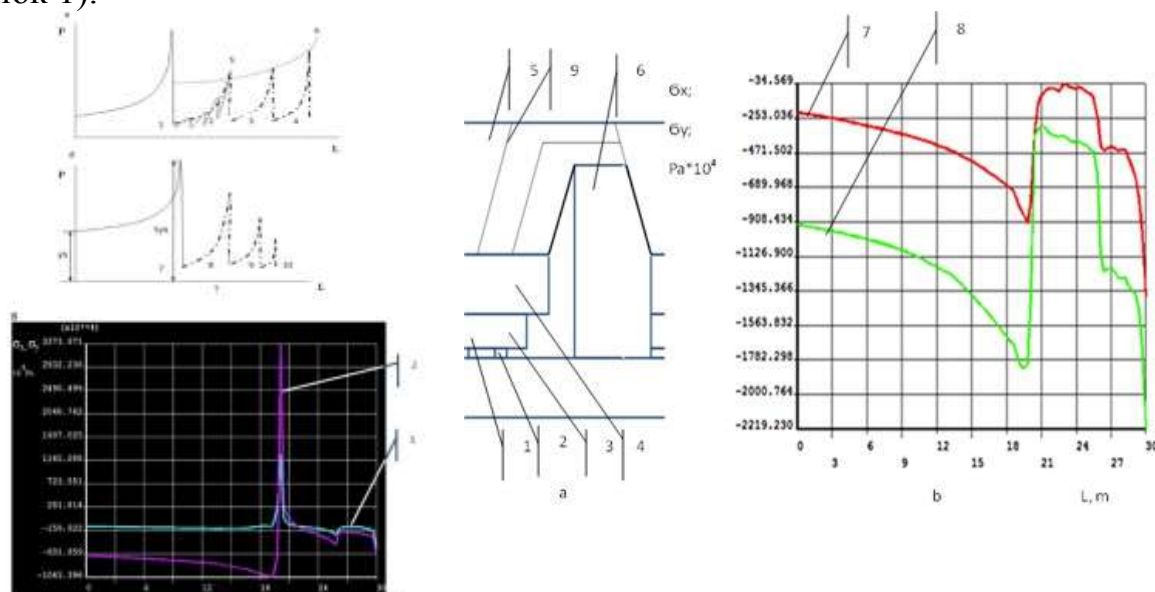


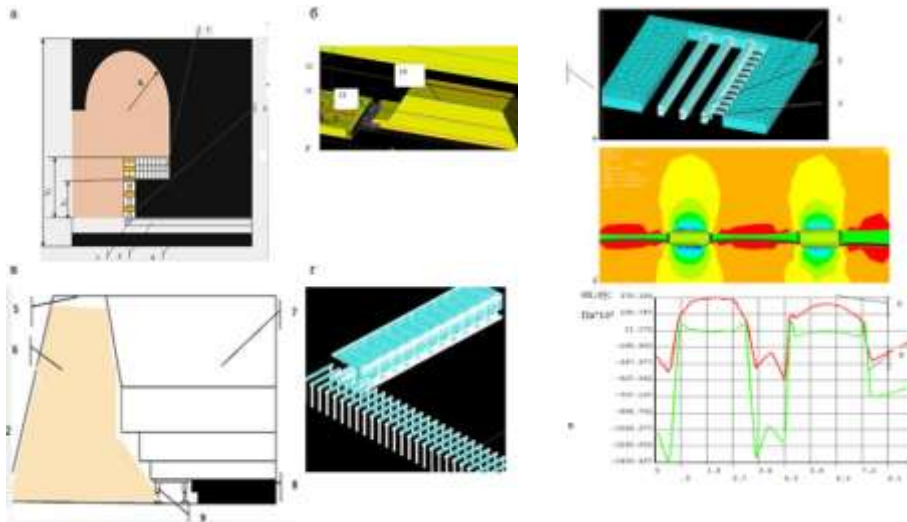
Рис. 1. Напряженно-деформированное состояние горных пород при разработке угольного пласта

Слева на рисунке 1 показана зависимость давления от расстояния и распределение напряжений в горной породе при различных этапах нагружения, отражая критические точки деформаций и разрядки массива.

Справа на рисунке 1 на схеме (a) показана геометрическая модель горного выработочного пространства с указанием ключевых точек и направлений напряжений (σ_x и σ_y). На графике (b) представлены результаты численного моделирования распределения горизонтального (красная линия) и вертикального (зеленая линия) напряжений вдоль забоя (L, м). Пики и резкие изменения на графике отражают зоны концентрации напряжений и потенциальные области неустойчивости массива пород.

На рисунке 2(a) и 2(в) представлены результаты моделирования и проектирования короткозабойной камерной технологии угледобычи в сложных горно-геологических условиях.

Рисунки показывают моделирование напряженно-деформированного состояния горных пород и конструктивные решения для разработки уголь-



Таким образом, рисунки и графики визуализируют основные теоретические и экспериментальные результаты исследования, подтверждая эффективность предложенных технологических решений.

Результаты исследования и экспериментальных исследований подтвердили устойчивость горных пород при использовании короткозабойной камерной технологии. Анализ показал снижение затрат угля и повышение рентабельности добычи полезных ископаемых. Применение поворотного конвейера позволяет оптимизировать процесс выемки и транспортировки угля, особенно в условиях стандартной конфигурации угольных пластов.

Выводы. Короткозабойная камерная технология с поворотным конвейером представляет собой эффективное решение для разработки угольных пластов в сложных горно-геологических условиях. Использование счетного исследования и экспериментальных методов обеспечивает объективную оценку устойчивости горных пород и позволяет прогнозировать поведение массива в различных производственных условиях.

Рекомендации. Разработанные модели и методики могут быть внедрены на угледобывающих предприятиях с целью повышения производительности и рентабельности шахтного производства. Применение технологий обеспечивает минимизацию потерь угольных запасов и позволяет значительно повысить экономическую эффективность угледобывающих предприятий. Рекомендовано внедрение данной технологии на угледобывающих предприятиях с доступными запасами.

Список литературы

1. Жетесова Г.С., Бейсембаев К.М., Малыбаев Н.С. и др. Разработка базовой технологии выемки ископаемого с поворотом конвейера на 90° // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329, №8. – С. 37-49.
2. Жетесова Г.С., Бейсембаев К.М., Нокина Ж.Н. и др. Программирование, управление и цифровые модели забоев газоугольных шахт: монография. – М.: Российская академия Естествознания, 2020. – 176 с.
3. Бейсембаев К.М., Малыбаев Н.С., Нокина Ж.Н. и др. Анализ конструкции базовых схем поворотных конвейеров для сложных условий // Тр. университета. – 2018. – №26. – С. 34-38.
4. Бейсембаев К.М., Нокина Ж.Н., Телиман И.В. и др. Состояние пород у забоев и экологически безопасные технологии выемки на основе поворотных конвейеров // Успехи современного естествознания. – 2018. – №7. – С. 83-87.

УДК 622.2

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ БУНКЕРА-ПЕРЕГРУЖАТЕЛЯ С ЦЕЛЮ СНИЖЕНИЯ ПЫЛЕОБРАЗОВАНИЯ В ОЧИСТНЫХ КАМЕРАХ КАЛИЙНЫХ РУДНИКОВ

А. В. Сенькин, аспирант, **Д. И. Шишлянников**, д.т.н., проф.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь

Ведение горных работ проходческо-очистными комбайнами на калийных рудниках сопровождается интенсивным пылеобразованием. Высокое содержание пыли в очистных выработках приводит к негативным последствиям, как для горнопроходческой техники, так и для здоровья горнорабочих. На сегодняшний день существует множество методов борьбы с пылью, но проблема по-прежнему остается актуальной именно для калийных рудников, где использование воды для мокрого пылеподавления пагубно влияет на состояние выработок. Описаны технические решения по совершенствованию конструкции бункера-перегрузателя, направленные на снижение пылеобразования при погрузке руды.

Ключевые слова: пылеобразование, калийный рудник, проходческо-очистной комбайн, бункер-перегрузатель.

IMPROVING THE DESIGN OF THE HOPPER LOADER IN ORDER TO REDUCE DUST FORMATION IN THE MINING GROOVE OF POTASH MINES

A.V. Senkin, D.I. Shishlyannikov

Mining operations with sinking and cleaning combines at potash mines are accompanied by intense dust formation. The high dust content in the mining groove workings leads to negative consequences both for mining equipment and for the health of miners. To date, there are numerous methods of dust control, but the problem remains relevant specifically for potash mines, where the use of water adversely affects the state of the mining grooves. The article describes technical solutions to improve the design of the hopper loader, aimed at reducing dust formation during ore loading.

Keywords: dust formation, potash mine, tunneling combine, hopper loader.

Для добычи калийной руды на рудниках России используются механизированные комбайновые комплексы, которые включают в себя проходческо-очистной комбайн, бункер-перегрузатель и шахтный самоходный вагон. Известно, что при ведении очистных работ образуется повышенное

содержание пыли в атмосфере выработки. Витаящая пыль формируется из мелких частиц – фракций крупностью менее 0,25 мм (класс «-0,25 мм»), содержание которых в калийной руде достигает 10 % и более [1].

Замеры концентрации пыли показывают, что концентрация пыли на рабочих местах машиниста проходческо-очистного комбайна и шахтного самоходного вагона превышает предельно допустимую (5 мг/м^3) в 300...400 раз. Такая концентрация пыли опасна для здоровья человека и может привести к возникновению профессиональных заболеваний, таких как воспаление легких, туберкулез органов дыхания и т.п. [2]. Кроме того, высокая концентрация пыли влечет за собой ряд негативных последствий, таких как повышение агрессивности среды по отношению к металлу, снижение видимости, повышение слеживаемости руды и т.д.

На одном из калийных рудников России были произведены замеры концентрации пыли на рабочем месте машиниста проходческо-очистного комбайна, рабочем месте машиниста шахтного самоходного вагона, на расстоянии 30 метров от проходческо-очистного комбайна и в устье очистной камеры при различных производительностях проходческо-очистного комбайна (2,73; 5,24 и 8,12 т/мин). Результаты замеров приведены на рисунке 1.

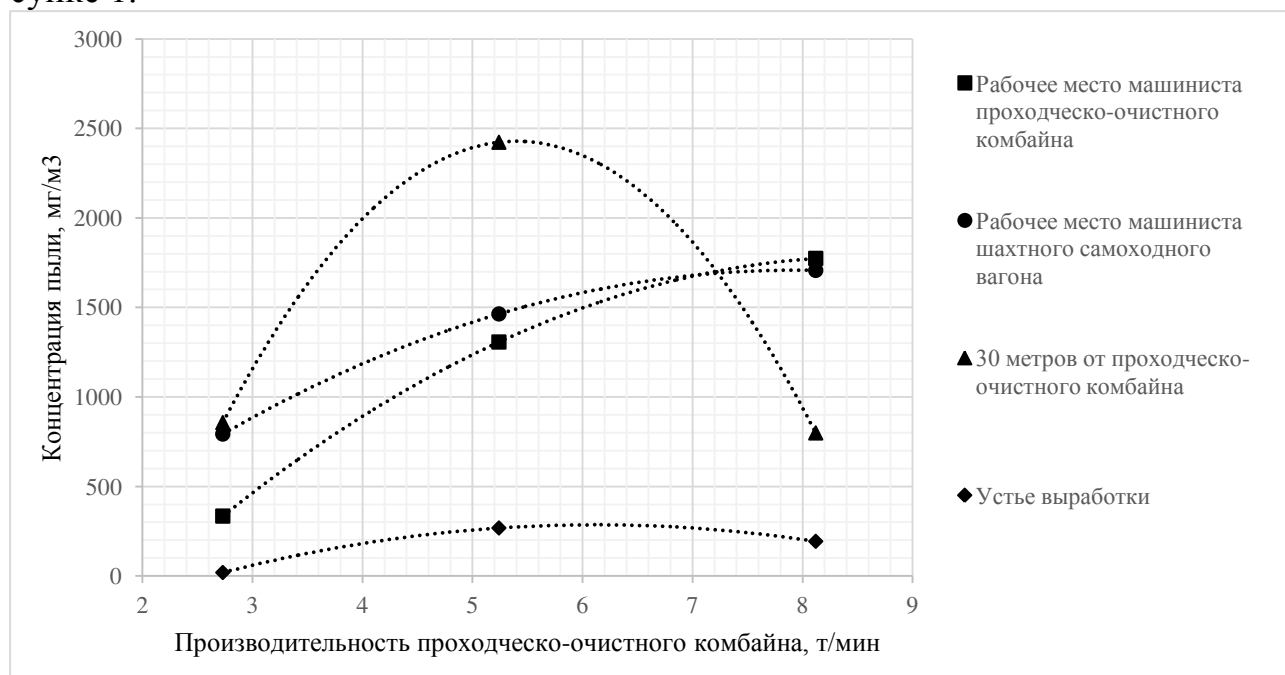


Рис. 1. Замеры концентрации пыли в очистной камере при различной производительности проходческо-очистного комбайна

Анализ графиков, приведенных на рисунке 1, показывает, что на рабочих местах машинистов проходческо-очистного комбайна и шахтного самоходного вагона концентрация пыли увеличивается с увеличением производительности проходческо-очистного комбайна, в то время как, в устье выработки и на расстоянии 30 метров от проходческо-очистного комбайна, количество витающих частиц пыли в атмосфере наоборот снижается.

При большой подаче и высокой производительности проходческо-очистного комбайна увеличивается толщина стружки, отделяемая от забоя, и доля мелких фракций в добываемой руде, соответственно, уменьшается. При максимальной подаче проходческо-очистного комбайна увеличивается объем перегружаемой калийной руды погрузочным органом проходческо-очистного комбайна, что провоцирует повышенную концентрацию пыли в воздухе вблизи забоя.

Точки перегрузки калийной руды являются одним из самых интенсивных источников пылеобразования. На некоторых рудниках для снижения пылеобразования из комбайнового комплекса исключают бункер-перегрузатель, что значительно сокращает эксплуатационную производительность механизированного комбайнового комплекса.

Добыча калийной руды механизированными комбайновыми комплексами осуществляется циклично при использовании челноковой доставки калийной руды в шахтных самоходных вагонах от очистного забоя до точки разгрузки (разгрузочная скважина, участковый конвейер и т.д.).

При длине очистной камеры 200 метров и площади очистного забоя $15,6 \text{ м}^2$ (сечение проходческо-очистного комбайна Урал-20Р [3]) доставка калийной руды осуществляется в 262 цикла, большая часть из которых сопровождается простоями проходческо-очистного комбайна в ожидании шахтного самоходного вагона. Ожидание проходческо-очистного комбайна возникает из-за разности времени наработки проходческо-очистным комбайном объема калийной руды и временем доставки этого объема.

Время наработки $T_{\text{ком}}$, за которое проходческо-очистный комбайн отбывает калийную руду в объеме, равном объему кузова шахтного самоходного вагона (ШСВ), рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{\text{ком}} = q_v / Q_T, \text{ мин}, \quad (1)$$

где q_v – грузоподъемность шахтного самоходного вагона, т; Q_T – минутная производительность проходческо-очистного комбайна, т/мин.

Время доставки руды шахтным самоходным вагоном от точки загрузки до рудоспускной скважины $T_{\text{шсв}}$ определяется по формуле:

$$T_{\text{шсв}} = 2L/V_{\text{шсв}} + t_p + t_m + t_{зв}, \text{ мин}, \quad (2)$$

где L – плечо (расстояние) доставки руды шахтным самоходным вагоном, м; $V_{\text{шсв}}$ – скорость шахтного самоходного вагона, м/мин; t_p – время разгрузки шахтного самоходного вагона, мин; t_m – время выполнения маневровых операций при движении шахтного самоходного вагона, мин; $t_{зв}$ – время загрузки шахтного самоходного вагона, мин.

Простои проходческо-комбайнового комплекса из-за ожидания шахтного самоходного вагона, используя формулы (1) и (2), можно представить в виде графиков на рисунках 2 и 3 – при использовании бункер-перегрузателя и без него, соответственно.

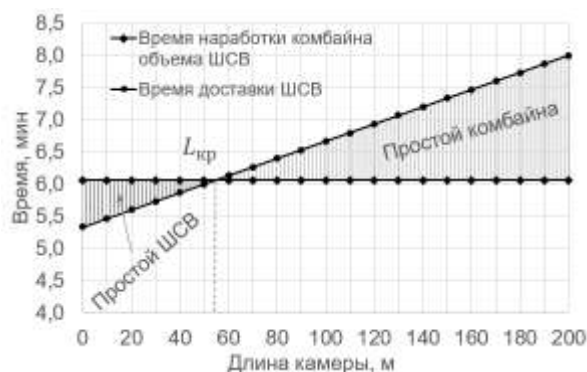


Рис. 2 Изменение времени простоев проходческо-очистного комбайна и шахтного самоходного вагона в зависимости от плеча (расстояния) доставки руды из очистной камеры при работе комбайнового комплекса с бункером-перегрузчиком

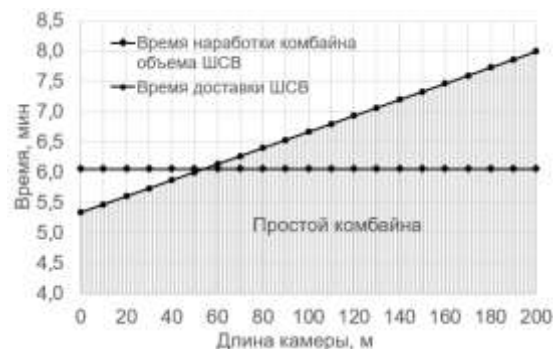


Рис. 3 Изменение времени простоев проходческо-очистного комбайна и шахтного самоходного вагона в зависимости от плеча (расстояния) доставки руды из очистной камеры при работе комбайнового комплекса без бункера-перегрузчика

Из анализа рисунков 2 и 3 следует, что простои проходческо-очистного комбайна значительно увеличиваются при исключении бункер-перегрузчика из состава механизированного комбайнового комплекса, что приводит к значительному сокращению его эксплуатационной производительности.

Авторами настоящей статьи предлагается техническое решение, позволяющее снизить интенсивность пылеобразования в выработках без исключения бункера-перегрузчика из состава проходческого комплекса за счет совершенствования его конструкции.

Совершенствование конструкции бункера-перегрузчика заключается в установке герметичного съемного тента на его кузов (рисунок 4). В виду затруднения визуального контроля наполнения кузова бункера-перегрузчика, вследствие применения указанного съемного тента, предлагается его оснащение системой автоматизации (рисунок 5), которая включает в свой состав три датчика предельного уровня.



Рис. 4. Общий вид бункера-перегрузчика со съемным тентом



Рис. 5. Схема автоматизации съемного тента

Датчик предельного уровня № 1 предназначен для равномерного распределения калийной руды вдоль кузова бункер-перегрузателя.

Датчик предельного уровня № 2 предназначен для контроля равномерного заполнения калийной рудой вдоль кузова.

Датчик предельного уровня № 3 срабатывает при полном заполнении кузова бункер-перегрузателя.

Применение герметичного съемного тента на бункере-перегрузателе позволит значительно снизить пылеобразование в рабочей зоне машиниста проходческо-очистного комбайна за счет исключения одного из самых интенсивных источников пылеобразования – перегруза калийной руды.

Список литературы

1. Максимов, А. Б. Обоснование параметров породоразрушающих исполнительных органов и погрузочного оборудования проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р»: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / А. Б. Максимов. Пермь, 2019. 182 с. Текст: непосредственный.

2. Суханов, А.Е. Использование перекрестной схемы резания для снижения пылевидных и небогатых фракции при механизированной добыче калийной руды / А. Е. Суханов, Д. И. Шишлянников, А. Г. Исаевич. Текст: непосредственный // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2023. Т. 334. № 2. С. 60–69.

3. Комбайн проходческо-очистной «Урал-20Р» Руководство по эксплуатации 41.00.00.000 РЭ.

УДК 621.833.35

К ВОПРОСУ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВАРИЙНОЙ СТОЙКИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ШАХТНОЙ КРЕПИ

Синицын Г.М., студент, **Филипенко И.А.**, к.т.н., ассистент

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург

Добыча полезных ископаемых подземным способом всегда сопрягалась с риском для жизни и здоровья персонала. С целью обеспечения нахождения человека под землей должным уровнем безопасности, были разработаны различные системы, в числе которых есть и механизированные шахтные крепи. От несущей способности крепи, а также от ее несущей способности зависит жизнь человека, потому их усовершенствование повышает безопасность нахождения под землей.

Ключевые слова: шахтная крепь, гидравлическая стойка, гидродомкрат, безопасность, винтовой редуктор, надежность оборудования.

ON THE ISSUE OF DESIGNING AN EMERGENCY STAND FOR A MECHANIZED MINE SUPPORT

Sinitsyn G.M., Filipenko I.A.

Mining underground has always been associated with a risk to the life and health of personnel. In order to ensure that a person is underground with an appropriate level of safety, various systems have been developed, including mechanized mine supports. Human life depends on the bearing capacity of the support, as well as on its bearing capacity, therefore their improvement increases the safety of being underground.

Keywords: shaft support, hydraulic rack, hydraulic jack, safety, screw gearbox, equipment reliability.

Добыча ресурсов подземным способом сопряжена с риском для здоровья и жизни персонала, а также для работоспособного состояния оборудования, находящихся непосредственно в зоне проведения работ. В процессе выемки полезного ископаемого, а также при проведении работ по расширению рабочих участков, происходит разделение пласта породы пустым пространством, ослабляющим структуру самого пласта. Во избежание возможных проседаний и обвалов породы используют различные конструкции и устройства [1]. Одним из существующих таких устройств является секционная механизированная шахтная крепь. Крепи характерны содержанием в своей структуре гидравлических стоек, воспринимающих нагрузки со стороны кровли выработки. Такая конструкция определяет необходимость обеспечения гидравлических стоек постоянным и высоким давлением в напорной линии гидравлической системы. При этом стоит отметить, что сила, развиваемая гидравлической стойкой, в таком случае ограничивается предельным давлением арматуры стойки крепи, а также возможностями самой гидравлической системы.

Вопросу повышения усилия на выходном звене гидравлической стойки посвящены работы профессора Дворников Л.Т. и его учеников [2]. В частности, их идея, отраженная в патенте РФ №2329381 от 2008 года, заключается во внедрении в конструкцию крепи винтового редуктора поступательного движения (рис. 1). Согласно вышеуказанному патенту, редуктор, образованный звеньями гидравлической стойки, позволяет повысить

усилие на выходе при том же давлении в напорной линии гидравлической системы.

Однако, проведенный анализ представленной схемы [3], а также его описания, позволил выявить в ней ряд недостатков, решение которых позволило создать новое техническое решение.

Один из недостатков указанной системы заключается в выполнении резьбового соединения между гидроцилиндром и гайкой с эффектом самоторможения. Такое исполнение, в случае возникновения большого нагружения, способного привести гидродомкрат в движение и вывести резьбовое соединение из строя, приводит к опусканию выходного элемента до соприкосновения со штоком гидроцилиндра. Тогда усилие со стороны кровли непосредственно будет передаваться на шток гидроцилиндра, который рассчитан на меньшие усилия с учетом наличия в системе редуктора, позволяющего использовать меньшее давление для реализации того же усилия. Переданное таким образом усилие на шток гидроцилиндра приводит в движение выходной элемент вместе со штоком вниз до упора, что приводит к утративанию гидромеханической стойкой ее несущей способности.

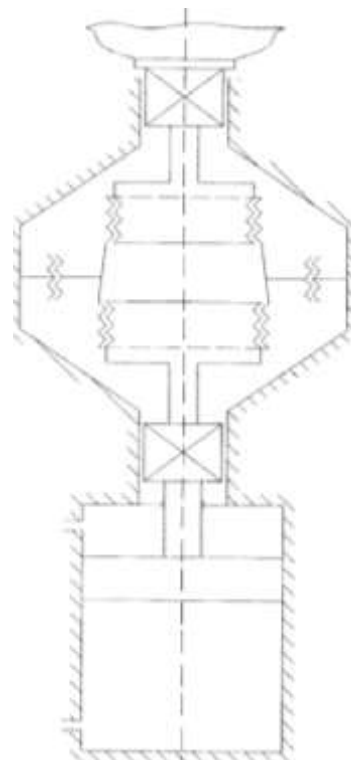


Рис. 1. Гидродомкрат согласно патенту РФ №2329381

Второй недостаток системы заключается в используемой комбинации трех резьб, из которых резьба между гидроцилиндром и гайкой с эффектом самоторможения. Подобная комбинация, со слов авторов, делает невозможным передачу движения под действием усилий, направленных со стороны кровли, и обеспечивает возможность приведения механизма в движение исключительно за счет подачи рабочей жидкости сверху и снизу поршня. Однако, анализ описания и схемы позволяет сделать вывод о том, что схема является зеркальной и описанный эффект возможен только при строгом подборе параметров резьб и прочностных расчетах резьбовых соединений.

Описанные недостатки схемы не позволяют ей повысить срок службы секции механизированной крепи. В качестве альтернативного варианта применения передачи «винт – гайка» в системе гидравлической стойки крепи авторами предложена новая схема, заявленная как изобретение, отличающаяся от известной по следующим признакам.

Во-первых, резьбовое соединение, выполненное с эффектом самоторможения, следует выполнить между гайкой и выходным звеном. Такое решение обуславливает отсутствие стремления выходного звена повернуть гайку, что исключает возможность нагрузок, направленных со стороны кровли, привести весь гидродомкрат в движение.

Во-вторых, следует исключить резьбовое соединение между гайкой и гидроцилиндром. Замыкание гайки с гидроцилиндром можно обеспечить за счет ее установления между двумя подшипниками. При этом, нижний подшипник необходимо подобрать таким образом, чтобы его прочность уступала прочности резьбового соединения с эффектом самоторможения.

Такое исполнение позволяет добиться нескольких эффектов. Во-первых, в случае возникновения нагрузки, превышающей по величине критические значения, подшипник с заведомо более низкой прочностью по сравнению с резьбовым соединением, выйдет из строя раньше, сохраняя в целости резьбовое соединение, что позволяет всему редуктору продолжать функционировать. Во-вторых, такое исполнение позволяет распределить нагрузку, направленную со стороны кровли, между штоком гидроцилиндра и самим гидроцилиндром. В случае возникновения больших нагрузок, выводящих упорный подшипник из строя с последующим проседанием гайки, нагрузка передавалась бы на корпус гидроцилиндра, не приводя к опусканию штока, что позволяет продлить срок службы гидромеханической стойки шахтной крепи.

В-третьих, исключение вращательного движения входного и выходного звеньев редуктора поступательного движения возможно не только за счет выполнения фасонного сечения, но и путем простого выполнения на контактируемых поверхностях звеньев выступов и канавок одинакового сечения.

Вывод. Таким образом, винтовой редуктор поступательного движения, введенный в конструкцию гидравлической стойки это техническое решение, которое позволяет обеспечить повышение нагрузочной способности стойки. Однако, малая изученность вопроса оставляет конструкторам возможности к развитию, что должно приводить к повышению уровня надежности систем поддержки кровли и, как следствие, к безопасности ведения добычи подземным способом.

Список литературы

1. Гаращенко Ж.М., Габов В.В., Прялухин А.Ф. Технология, способы и технические средства отработки угольных целиков // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2022. – №15. – С. 151-156.
2. Дворников Л.Т., Князев А.С. Исследование гидродомкрата секции механизированной крепи с эффектом самоторможения // Вестник КузГТУ. – 2015. – С. 41-45.
3. Сеницын Г.М. Анализ известных технических решений редукторов поступательного движения // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2022. - №10. – С. 19-23.

УДК 622.331

ОСОБЕННОСТИ ВЫЕМКИ ОРГАНОГЕННОГО ГРУНТА С ОТКОСА КАРЬЕРА

Смирнов А.И., аспирант

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
г. Санкт-Петербург, Россия

В настоящее время, по причине отсутствия на рынке узкоспециализированных многоковшовых экскаваторов, выемку органогенного сырья карьерным способом возможно осуществлять с помощью одноковшовых гидравлических экскаваторов. В рамках параметрической схемы гидроманипулятор одноковшового экскаватора осуществляет практически любую траекторию кромки ковша в забое за счет независимых приводов поворота стрелы, рукояти и ковша. С целью уменьшения рисков обрушения борта торфяного карьера и усреднения органогенного сырья по физико-механическим свойствам в процессе выемки, рекомендуется осуществлять выемку по откосу карьера со всей глубины залежи. Такой способ экскавации осуществляется совмещением поворота стрелы и рукояти экскаватора с отслеживанием поверхности откоса регулируемым положением ковша. В результате ковш экскаватора перемещается по прямой траектории и срезает стружку постоянной величины с откоса карьера, пересекая все стратиграфические слои торфяного месторождения.

Ключевые слова: органогенный грунт, карьерный способ, откос карьера, одноковшовый экскаватор, выемка, торфяное сырье

PECULIARITIES OF ORGANOGENIC GROUND EXCAVATION FROM THE OPEN-PIT SLOPE SURFACE

Smirnov A.I.

At present, due to the lack of highly specialized multi-bucket excavators on the market, excavation of organogenic grounds by open-pit method can be carried out with the help of single-bucket hydraulic excavators. Within the parametric scheme the hydraulic manipulator of single-bucket excavator realizes practically any trajectory of the bucket edge in the face due to independent drives of boom, arm and bucket rotation. In order to reduce the risk of collapse of the pit wall and averaging of organogenic grounds by physical and mechanical properties in the excavation process, it is recommended to carry out excavation along the pit slope from the entire depth of peat deposit. This excavation method is carried out by combining the rotation of boom, arm and bucket. As a result, the excavator bucket moves along a rectilinear trajectory and cuts a thin chip from the pit slope, crossing all stratigraphic layers of the peat deposit.

Keywords: organogenic ground, open-pit mining, pit slope, single-bucket excavator, excavation, peat

В настоящее время перспективной технологией по разработке торфяных месторождений является карьерный способ, в рамках которого осуществляется практически круглогодичная добыча торфяного сырья, что снижает общие затраты и повышает эффективность производства [1].

С течением времени был разработан ряд методов работы, в зависимости от того, что именно добывалось, а также от уровня доступных технологий. В связи с широким распространением одноковшовых гидравлических экскаваторов и отсутствием на рынке узкоспециализированных многоковшовых экскаваторов непрерывного принципа действия, которые осуществляли выемку торфяного сырья с поверхности откоса карьера глубиной до 4,5 м путем срезания стружки, в настоящее время возможно применять гидравлический одноковшовый экскаватор.

Основной целью статьи является анализ особенностей выемки органогенного грунта с откоса карьера одноковшовым экскаватором.

Рабочее оборудование одноковшового гидравлического экскаватора представляет собой трехзвенный манипулятор с четырьмя степенями свободы. Поскольку каждое из четырех звеньев может вращаться только на своих соответствующих осях, то их основными геометрическими характеристиками являются длины звеньев и их относительные углы поворота. Непосредственно участвуют в операции копания стрела, рукоять и ковш, которые создают необходимое усилие копания с помощью гидравлических цилиндров.

В рамках анализа параметрической схемы гидроманипулятор одноковшового гидравлического экскаватора осуществляет практически любую траекторию движения режущей кромки ковша в забое. За счет независимых приводов поворота стрелы, рукояти и ковша обеспечивается высокая точность позиционирования ковша при выполнении выемочно-погрузочных работ. Планирование траектории и управление манипулятором является ключевым моментом для осуществления выемки грунта. В процессе выемки грунта необходимо планировать траекторию движения ковша с учетом свойств грунта, усилия копания и скорости ковша.

При поступательном движении ковша в плоскости откоса карьера происходит главное движение, обеспечивающее отделение грунта. У одноковшовых экскаваторов движение подачи может производиться на всем протяжении копания, более интенсивно при врезании и с последующим постепенным замедлением вплоть до остановки в конце траектории.

Экскаваторы с рабочим оборудованием "обратная лопата" разрабатывают выемки любой ширины и глубины, не превышающей максимальной глубины резания. Выемку с откоса карьера планируют за один проход ковша по участку при верхней стоянке экскаватора, что облегчает разработку мокрых грунтов. Продольная база экскаватора располагается параллельно бровке откоса (Рисунок).

Гидроманипулятор располагают перпендикулярно линии бровки. Углубление стрелы в карьер происходит параллельно с одновременным позиционированием рукояти. Загрузка ковша начинается с его поворота относительно рукояти (позиционирование ковша). В этом случае выемка грунта происходит, как и при планировании откосов карьеров или каналов при верхней стоянке экскаватора. В процессе углубления стрелы с одновременным разворотом рукояти с загрузкой ковша срезается стружка грунта с поверхности откоса при движении режущей кромки ковша вверх по откосу карьера.

Произведя выемку на одном месте, экскаватор передвигается по фронту забоя на ширину выемки и снимает очередной участок откоса с перекрытием предыдущего на 0,2 м.

Подобный процесс выемки обеспечивает более надежную местную устойчивость откосов. Машину лучше контролировать при наборе грунта в ковш тонкой стружкой и снижается риск перегрузки ковша.

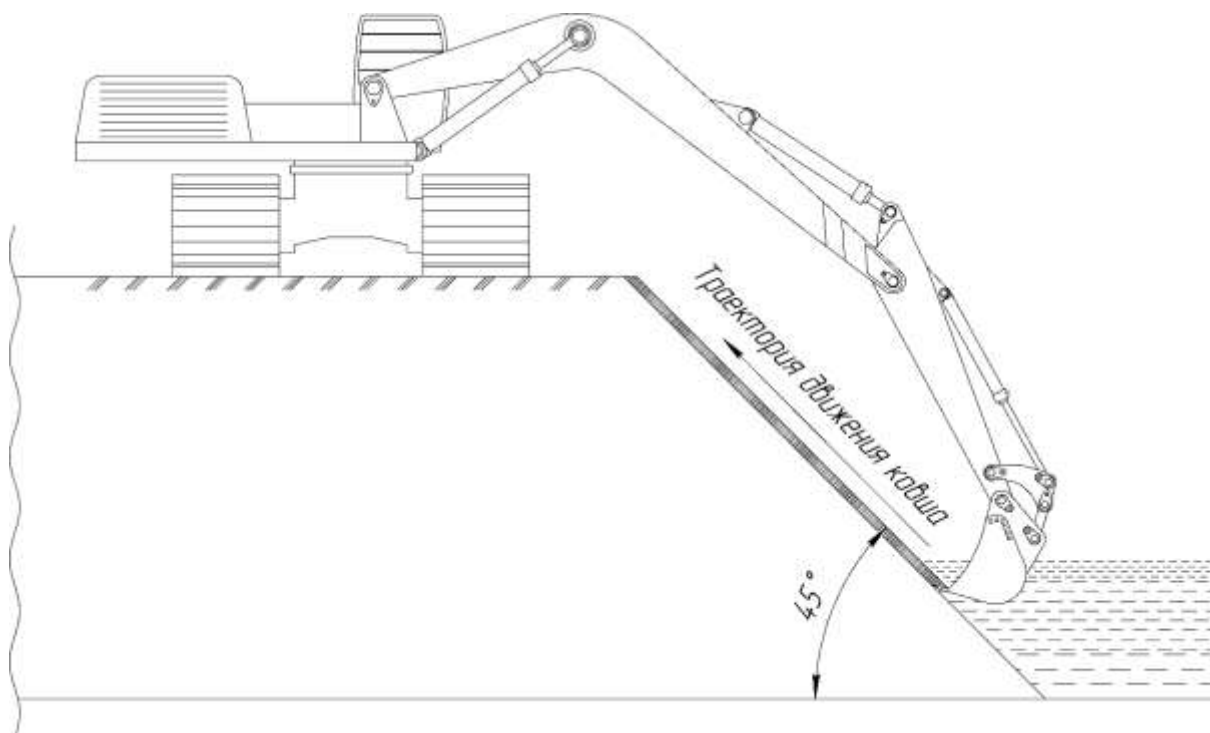


Рисунок. Выемка органогенного сырья с откоса карьера

Анализ функционирования и эксплуатации экскаватора показал, что при выемке слабого грунта I категории по трудности копания сопротивления на режущей кромке ковша экскаватора будет минимальными за счет низкой прочности органогенных грунтов и малой толщине срезаемой стружки.

Так как торфяная залежь представляет собой свиту нескольких горизонтально наложенных пластов, разнородных по своему составу, то выемка сырья, которая осуществляется обычным поворотом ковша и рукояти, не обеспечивает его усреднения физико-механических свойств. Так же для торфяной залежи характерна высокая влажность в естественном состоянии (в пределах 89-91%). Так как копание торфяного сырья производится экскаватором со всей глубин торфяной залежи до 5 м путем образования откоса, угол заложения которого равен 45° , то существует опасность обрушения борта торфяного карьера, по причине слабой прочности торфяной залежи и ее высокой влажности.

С целью получения торфяного сырья с усредненными физико-механическими характеристиками и уменьшения рисков обрушения борта торфяного карьера, рекомендуется осуществлять выемку торфяного сырья со всей глубины залежи, таким образом, чтобы ковш экскаватора при выемке срезал стружку с откоса торфяного карьера, пересекая все стратиграфические слои торфяного месторождения [2].

Для решения поставленных целей рассматривается прямолинейная траектория рабочего органа экскаватора при ограничениях, специфичных для конкретной задачи выемки сырья, которая достигается поворотом стрелы и рукояти с регулируемым положением ковша экскаватора относительно разрабатываемого откоса. По параметрической схеме экскаватора траектория копания представляет собой замкнутую плоскую фигуру [3,4]. Ковш движется по прямолинейной траектории с постоянной скоростью вверх по откосу карьера.

Гидравлический одноковшовый экскаватор приспособлен для выемки органогенного сырья карьерным способом со всей глубины залежи.

Такой способ выемки сырья с откоса карьера обеспечивает:

- местную устойчивость откосов с укреплением их поверхности;
- минимизирует вероятность дестабилизации склона или машины на нем;
- высокую точность при наборе грунта в ковш тонкой стружкой;
- снижение риска перегрузки ковша;
- усреднение торфяного сырья в ковше по физико-механическим характеристикам.

Список литературы

1. Михайлов А.В., Казаков Ю.А., Гарифуллин Д.Р., Короткова О.Ю., Агагена А. Анализ структуры мобильного комплекса для добычи органогенного сырья карьерным способом // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 6-1. – С. 317-330. DOI:10.25018/0236_1493_2022_61_0_317.
2. Михайлов А.В., Смирнов А.И. Анализ технологических особенностей экскавации органогенного сырья // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2024. – № 29. – С. 136-143.
3. Митрев Р.П. Набор дополнительных показателей для оценки геометрических свойств рабочей зоны гидравлического экскаватора // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». – 2016. – Том 8. №4. – С. 1-14.
4. Гурко А. Г. Математическая модель манипулятора экскаватора с обратной лопатой // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2011. – № 55. – С. 79-89.

УДК 622.232

АНАЛИЗ И СТРУКТУРИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНОГО МАССИВА КАЛИЙНЫХ РУД ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ОРГАНАМИ ДОБЫЧНЫХ КОМБАЙНОВ

А. В. Кожей, зам. гл. энергетика рудника, С. В. Ситдикова, ст. преп.,
Д. С. Стожков, доц., канд. техн. наук, А. В. Угольников, доц., канд. техн. наук
РФ ПАО «Уралкалий», г. Березники,
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург

Анализ процессов разрушения калийных руд с использованием горных машин является важнейшей задачей в области сохранения работоспособности их исполнительных органов и как результат в повышении производительности комбайновых комплексов. В настоящее время применяемые системы управления добычных комбайнов не позволяют вести точный учёт всех условий работы исполнительных органов комбайнов и обеспечивать полный контроль исправности механического и гидравлического оборудования. До сих пор имеется «острая» необходимость в изучении процессов разрушения горного массива с использованием режущих дисков, а также образования систем (алгоритмов) структурирования принципов работы добычного комбайна в забое, при ведении очистных работ.

Ключевые слова: процесс разрушения, калийная руда, горные машины, исполнительный орган, горный массив, режущий диск, структурирование, забой, очистные работы, крепость горных пород, резцы, гидравлическая система.

ANALYSIS AND STRUCTURING OF THE PROCESSES OF DESTRUCTION OF A POTASH ORE MOUNTAIN RANGE BY THE EXECUTIVE BODIES OF MINING COMBINES

A.V. Kozhey, S.V. Sitdikova, D.S. Stozhkov, A.V. Ugolnikov

The analysis of the processes of destruction of potash ores using mining machines is the most important task in the field of maintaining the efficiency of their executive bodies and, as a result, in increasing the productivity of combine complexes. Currently, the management systems used for mining combines do not allow for accurate accounting of all operating conditions of the combine's executive bodies and ensure full control over the serviceability of mechanical and hydraulic equipment. There is still an "urgent" need to study the processes of rock mass destruction using cutting discs, as well as the formation of systems (algorithms) structuring the principles of operation of a mining combine in the face, during cleaning operations.

Keywords: destruction process, potash ore, mining machines, executive body, rock mass, cutting disc, structuring, face, cleaning work, rock strength, cutters, hydraulic system.

Введение. Применение проходческо-очистных комбайновых комплексов для производства очистных работ в горных выработках шахтного поля калийных рудников тесно связано с вопросами не только в обеспечении безопасных условий труда работников рудника, но и в сохранении их работоспособности.

Несмотря на высокие показатели производительности данных комбайновых комплексов, ежегодные затраты предприятия на капитальные ремонты и обслуживание электрического и механического оборудования комбайна до сих пор достаточно значительны.

Анализ исполнительного органа добычного комбайна для определения параметров структурирования.

Главные исполнительные органы добычного комбайна имеют следующий вид (рис.1):

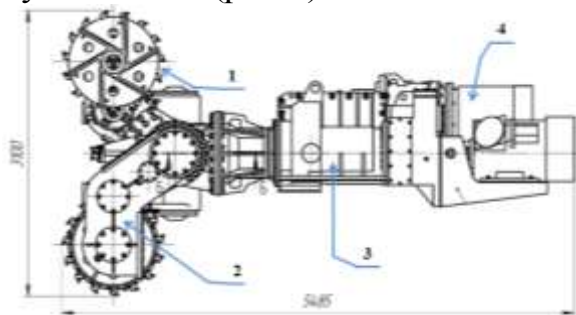


Рис. 1. Исполнительный орган добычного комбайна: 1 – режущий диск; 2 – редуктор раздаточный; 3 – редуктор; 4 – асинхронный электродвигатель

В состав исполнительного органа добычного комбайна входят:

- главный исполнительный орган;
- исполнительные органы берм;
- исполнительный орган переносного вращения;
- исполнительный орган отбойного устройства.

Регулирование размеров добытой руды производится при помощи изменения типа резцов режущих дисков. В большинстве случаев в качестве резцов для разрушения горных пород используются резцы РС -14, которые предназначены для разрушения пластов калийных руд и каменной соли с сопротивляемостью резанию до 450 Н/мм.

Дополнительно регулирование размеров фракций руды, возможно, при помощи регулирования скорости движения комбайна (подача исполнительного органа на забой): $V_{дв.}$, м/мин. изменение которой достигается путём изменения величины рабочего давления p , Мпа в гидросистеме комбайна.

Скорость подачи комбайна [1], на забой исходя, из мощности электропривода исполнительного органа можно определить по формуле 1:

$$V_n = \frac{N_{уст.}}{60m_{max} \times B \times H_w \times H_m}, \quad (1)$$

где $N_{уст.}$ – установленная мощность электропривода, кВт; m_{max} – максимальная мощность пласта, м; B – ширина захвата комбайна, м; H_w – удельные энергозатраты, кВтч/т; H_m – твёрдость горной породы по шкале Мооса.

Для рабочих органов угловая скорость вращения режущих дисков ω , рад/с рассчитывается по формуле 2:

$$\omega = 2\pi v = \frac{\varphi}{T}, \quad (2)$$

где v – число полных оборотов режущего диска за 1 минуту; 2π – полный оборот режущего диска; T – время, с; φ – угол поворота, рад.

Скорость резания горных пород [2] определяется по формуле 3:

$$\overline{v_p} = \overline{v_n} + \overline{\omega_o}(R_o + R_\partial \cos \alpha) + \overline{\omega_\partial} \times R_\partial, \quad (3)$$

где v_n – скорость подачи рабочего органа на забой; ω_o – угловая скорость вращения исполнительного органа вокруг собственной оси вращения; R_o – радиус от центра диска до оси вращения исполнительного органа; R_∂ – радиус диска по концам резцов; α – угол, определяющий положение резца на диске; ω_∂ – угловая скорость вращения дисков относительно их осей.

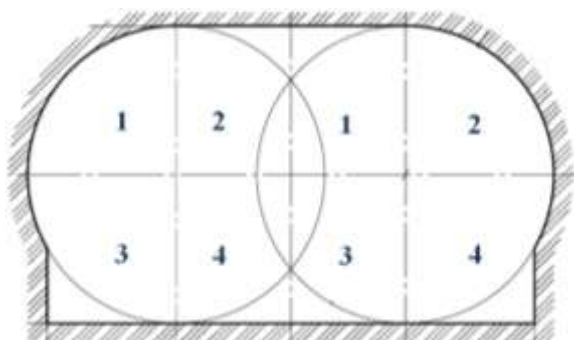


Рис. 2. Обозначение секторов углов поворота режущих дисков исполнительных органов комбайна

Формула угловой скорости вращения позволяет определить разность в скорости вращения режущих дисков исполнительных органов комбайна, в случае её изменения. Данную операцию необходимо выполнить для всех типов исполнительных органов.

Далее вводятся обозначения секторов углов поворота режущего диска (см. рис. 2).

Анализ физических свойств горных пород калийных шахт и рудников.

Для определения принципа воздействия режущего органа добычного комбайна на стенки выработки горного массива необходимо выполнить анализ физических свойств горных пород калийных рудников:

Коэффициент крепости горных пород по М.М. Протоdjяконову [3] рассчитывается по формуле 4:

$$f = 0,1 \times \sigma_{сж.}, \quad (4)$$

где $\sigma_{сж.}$ – предел прочности на одноосное сжатие, МПа.

Твёрдость горных пород определяется по шкале Мооса.

Сопротивляемость резанию калийного пласта [4]

$$\sigma_{сж.} = 0,09A_p \quad (5)$$

Данные о физических свойствах калийных пластов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Определение коэффициента крепости и твёрдости горных пород калийных рудников

Пласт, слой	f , МПа по М.М. Протоdjяконову	Твёрдость по шкале Мооса	A_p , кН/М
А	2,436	1,22	271
Б	2,093	2,0	233
КР II	2,509	1,23	279
Кс	2,676	1,23	297
В _{карн}	0,331	0,34	148

Требования к добываемой руде [5]: процентное содержание полезного ископаемого на общий объём добытой руды составляет: 22 – 23 %; требования к размерам фракций руды: более 6мм – 11 %, менее 1мм – 41 %.

Структурирование результатов выполненных расчётов.

В результате выполненных расчётов составляется сводная таблица для каждого исполнительного органа (см. табл.2).

Таблица 2. Параметры работы главных исполнительных органов добычного комбайна при ведении очистных работ в забое

Параметр	Зона 1 – 2		Зона 3 – 4		Зона 1 – 3	Зона 3 – 4
	пр.	лев.	пр.	лев.	пр.	лев.
Тип пласта	АБ	АБ	Кр – 2	Кр – 2	Кс	Кс
Мощность пласта	1,8	1,8	1,2	1,2	0,6	0,6
Крепость пласта	2,1	2,1	2,5	2,5	2,7	2,7
Сопротивление резанию	250	250	279	279	297	297
Тип резца	РС - 14	РС - 14	РС - 14	РС - 14	РС - 25	РС - 25
Скорость движения комбайна	2,5	2,5	1,8	1,8	1,5	1,5
Давление в гидросистеме	18	18	14	14	11	11

Процесс интеграции полученных данных в алгоритмы систем управления.

Для осуществления возможности интеграции были проведены дополнительные практические исследования в следующих областях: передача данных о работе комбайнового комплекса по силовым жилам кабеля, опыты оптического исследования состава горного массива и способа ультразвукового исследования состава пластов горных выработок.

Для примера на рисунке 3 представлен результат ультразвукового исследования горной породы: пласта А'-КрI, состоящего из слоёв каменной соли тёмно-серой, серой, белой от мелкозернистой до среднезернистой.

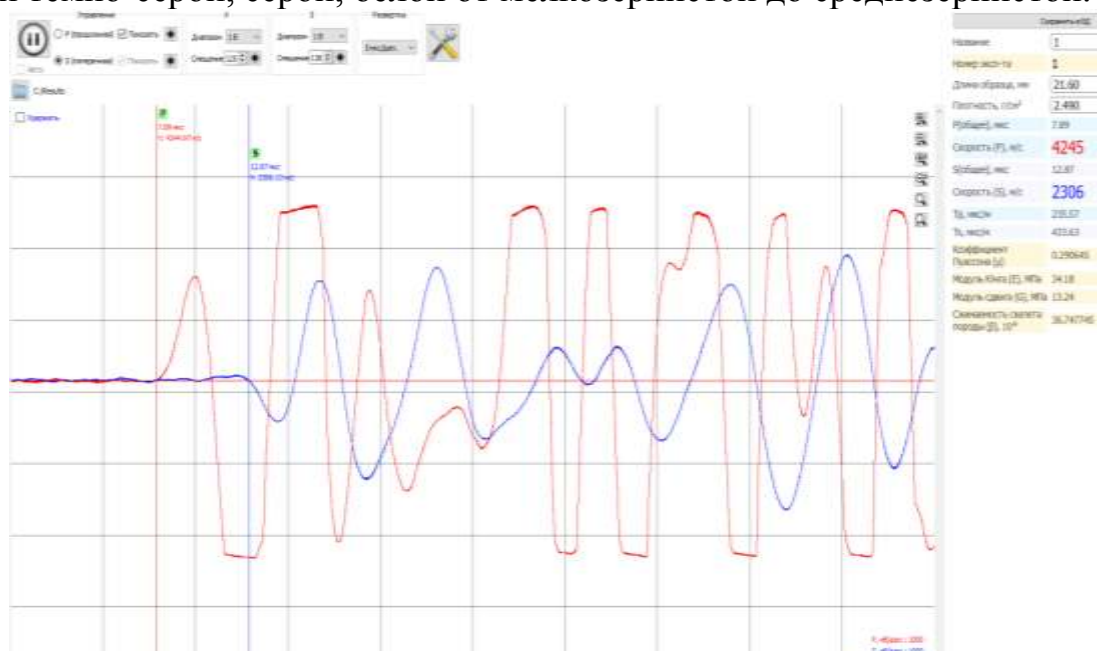


Рис. 3. Результаты практического прохождения ультразвуковой волны через образец горной породы

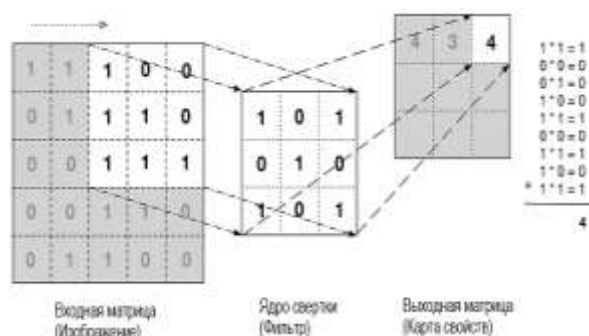


Рис.4. Процесс образования матрицы управления

Далее составляются матрицы управления, которые позволяют представить параметры работы исполнительных органов комбайна в виде двоичного кода (см. рис.4).

Номера в ячейках матрицы будут соответствовать режиму работы соответственно для каждого исполнительного органа в разных плоскостях работы.

Заключение.

В результате выполненного анализа процесса механизированной отработки горных выработок калийных рудников, было выполнено структурирование полученных данных и представление их в матричном виде, которые позволяют произвести более точную настройку режимов работы исполнительных органов комбайна, тем самым увеличить срок их эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. А. Хорешок, Л. Е. Маметьев, А. М. Цехин, А. Ю. Борисов. Горные машины и оборудование подземных горных работ. Режущий инструмент горных машин. Учебное пособие. Изд – во КузГТУ., Кемерово, 2012. – 288 с.
2. Гавриков А.А., Волчек О.М., Казаченко Г.В. Некоторые параметры планетарно – дискового исполнительного органа проходческого комбайна// Научный журнал: Горная механика и машиностроение. – 2017.–№1. – С. 49 – 53. УДК: 622.232.83.054.522(045)(476).
3. Танайно А.С. Сопоставление шкал классификаций горных пород по буримости// Научный журнал: Геотехнология. – 2018. – С. 34 – 38. УДК: 622.02 (476).
4. Семенов В.В., Шмакин И.Г., Жабин А.Б., Чеботарёв П.Н. Установление связей предела прочности калийных руд на сжатие с показателями их сопротивляемости резанию// Научный журнал: Горное оборудование и электромеханика. – 2012.–№2. – С. 34 – 36.
5. А.А. Сальников, А.Л. Любинский. Расчетно – пояснительная записка паспорта безопасности опасного объекта – Рудник с подземным способом разработки СКРУ – 1. Изд – во АО «ВНИИ Галургии», Пермь 2025.

УДК 62-1/-9: 62-799: 62-91:62-98

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ОТВОДА РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ ИЗ ЗУМПФА

Сысоева И.Н., Белых А.Р.

ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет имени
М.И. Платова (НПИ)»

Рассматриваются возможные причины неэффективной работы центробежного насоса технологической установки. На основании расчетов трубопроводов сделаны выводы и даны рекомендации по модернизации системы подвода и отвода рабочей жидкости из зумпфа технологической установки.

Ключевые слова: центробежный насос, рабочая жидкость, трубопровод, зумпф, технологическая установка.

MODERNIZATION OF THE WORKING FLUID DISCHARGE SYSTEM FROM SUMP

Syssoeva I.N., Belyh A.R.

The article discusses the possible causes of inefficient operation of the centrifugal pump of the technological unit. Based on the calculations of the pipelines, conclusions are drawn and recommendations are given for the modernization of the system for supplying and discharging power fluid from the sump of the technological unit.

Keywords: centrifugal pump, power fluid, pipeline, sump, technological unit.

При проектировании технологических объектов могут возникать неявные ошибки, которые выявляются только в процессе эксплуатации. Причиной их возникновения зачастую является то, что объекты проектирования представляют собой сложные и многофакторные системы. Игнорирование или упущение, на первый взгляд малозначимых факторов или ограничений, а также возможно по причине незнания тонкостей физических процессов приводит к нежелательному результату – неправильному или неэффективному функционированию системы.

Так, например, имеется две однотипные технологические установки, предназначенные для обогащения полезных ископаемых, но условия подвода и отвода рабочей жидкости немного отличаются. Сама рабочая жидкость представляет собой трехфазную среду - это пульпа во вспененном состоянии. В одном случае жидкость подается сверху (рис.1, 2), во втором случае сбоку под углом (рис.3). При этом из зумпфа рабочую жидкость подается в технологический трубопровод 5 центробежным насосом 2. Центробежный насос 1 используется в качестве резервного, то есть, одновременно оба насоса не работают. Существуют отличия и в конструкции технологического трубопровода 5. На установке, представленной на рис.1, этот трубопровод имеет длину 14 м и диаметр 200 мм. А на установке с боковым подводом рабочей жидкости в зумпф вместо прямой трубы 5 установлена гофрированная труба длиной 8 м и диаметром 220 мм. Какой из этих двух трубопроводов имеет большее гидравлическое сопротивление можно выяснить расчетным путем.

При эксплуатации технологической установки с подводом жидкости сверху 7 (рис.1) возникла проблема. Центробежный насос 2 дает подачу 80-100 м³/ч, что недостаточно для нормальной работы технологической установки, так как приток в зумпф через патрубок 6 составляет 180 м³/ч, что больше, чем отток рабочей жидкости. В связи с этим установку приходится по мере наполнения зумпфа отключать. А такой же насос другой установки с боковым подводом рабочей жидкости создает подачу в два раза больше 180 м³/ч, что соответствует притоку рабочей жидкости. Эта установка работает стабильно и без остановок. Каковы возможные причины таких различий в процессе эксплуатации технологических установок? И какие возможны пути решения проблемы?

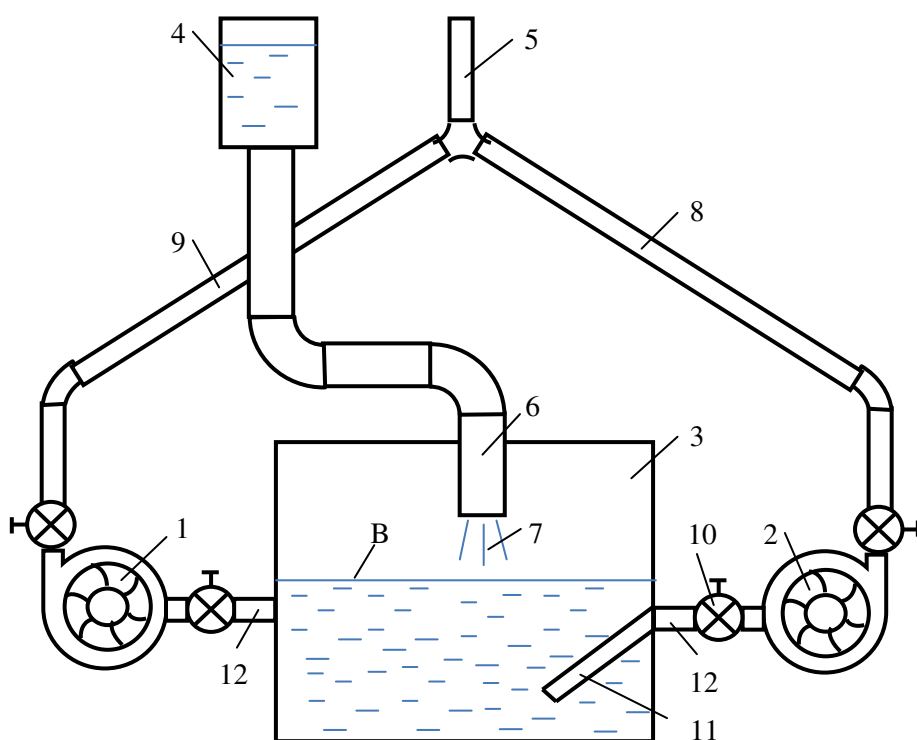


Рис. 1. Схема технологической установки

1, 2 – центробежный насос; 3 – зумпф; 4 – приемный желоб флотомашины; 5 – технологический трубопровод; 6 – трубопровод подачи жидкости в зумпф; 7 – подвод жидкости в зумпф; 8, 9 – патрубки технологического трубопровода; 10 – вентиль; 11 – всасывающий патрубок; 12 – забор жидкости из зумпфа

Причин сложившейся ситуации может быть несколько:

1. В технологическом трубопроводе 5 после насоса большое сопротивление.
2. Причина в подводе жидкости 6 в зумпф 3.
3. Причина в заборе жидкости 12 из зумпфа 3.

Для оценки влияния сопротивления трубопровода на работу центробежного насоса был выполнен расчет гидравлических потерь в трубопроводе. Согласно схеме технологической установки, в соответствии с рис. 1, технологический трубопровод имеет два поворота, и два вентиля, длина участка 8 составляет 6 м, а участка 5 – 14 м диаметром 200 мм. Для расхо-

да рабочей жидкости $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($0,028 \text{ м}^3/\text{с}$) рассчитаны потери напора, которые составили $0,36 \text{ м}$.

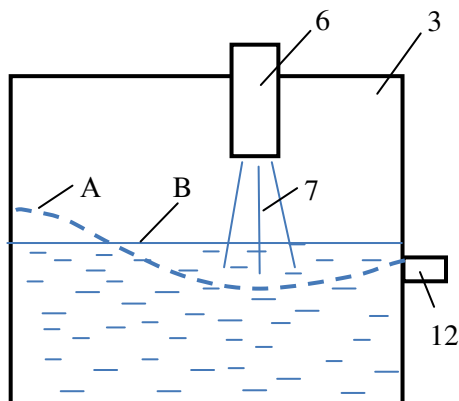


Рис.2. Схема подачи рабочей жидкости в зумпф сверху

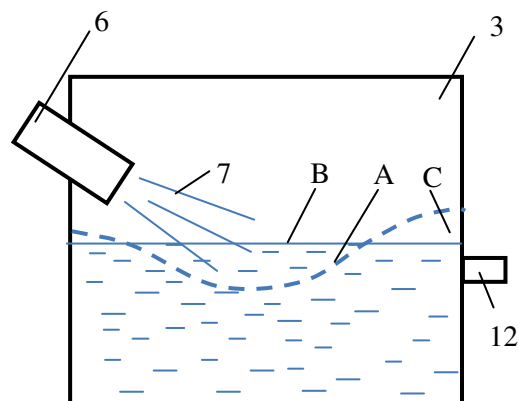


Рис.3. Схема подачи рабочей жидкости в зумпф сбоку

И построена характеристика трубопровода, представленная на рис. 4. Конфигурация технологического трубопровода с гофрированным участком 5 по расчетам имеет потери, которые составляют примерно $0,32 \text{ м}$. Потери напора в обоих трубопроводах почти одинаковые, что позволяет сделать вывод о том что, гидравлические потери не является причиной малой подачи насоса. Из графика видно, что при расходе $180 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($0,05 \text{ м}^3/\text{с}$) потери напора составляют $1,16 \text{ м}$.

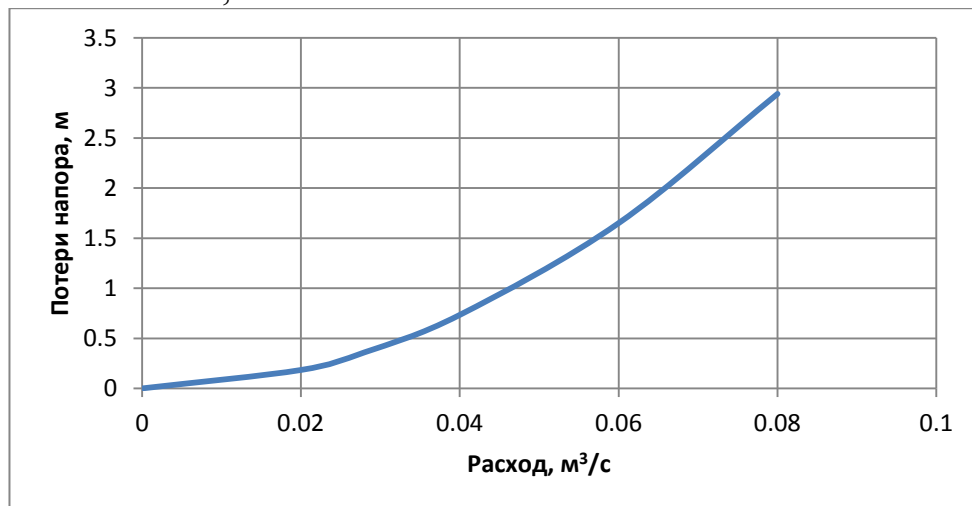


Рис.4. Зависимость гидравлических потерь в технологическом трубопроводе от расхода

Трубопроводы 6 подачи рабочей жидкости в зумпф, независимо от схемы, являются безнапорными, так как жидкость самотеком сливается из приемного желоба флотомашины 4 в зумпф и попадает в окружающую среду на высоте примерно 70 см от поверхности жидкости В. При такой схеме подвода жидкости гидравлические потери, возникающие в трубопроводе 6, не оказывают никакого влияния на работу центробежного насоса 2. Однако следует обратить внимание на взаимодействие вытекающей струи 7 жидкости с поверхностью В.

Имеется две схемы подвода жидкости в зумпф, для которых по-разному взаимодействует струя с поверхностью жидкости:

- 1) подвод сверху (рис. 2);
- 2) подвод сбоку (рис. 3).

В первом случае будет образовываться углубление, на форму и размеры которого оказывает влияние напор струи 7. С ростом *напора* процесс образования углубления становится неустойчивым, происходит колебание поверхности, и от неё отрываются капли. Уровень жидкости в зумпфе будет проходить по линии А и в зоне забора жидкости будет понижаться. А поскольку рабочая жидкость пенообразующая при эксплуатации технологической установки не видно понижения уровня жидкости в зумпфе ниже уровня его забора. При этом центробежный насос из окружающей среды подхватывает воздух, что существенно оказывает влияние на снижение подачи насоса.

Во втором случае при боковом подводе жидкости образуется на поверхности А эффект гидравлического прыжка в зоне С, который будет сгонять с поверхности жидкость в сторону забора жидкости 12. Тем самым уровень жидкости на входе центробежного насоса будет повышаться.

Таким образом, причина неэффективной работы технологической установки кроется в заборе жидкости из зумпфа. Для решения данной проблемы можно рекомендовать два способа: 1) для уменьшения диаметра и глубины углубления на поверхности жидкости удлинить трубу 6, подающую жидкость в зумпф так, чтобы её выход был как можно ближе к поверхности В; 2) установить всасывающий патрубок 11 центробежного насоса, так чтобы гарантированно обеспечить отсутствие контакта забора жидкости с воздухом.

Модернизация технологической установки для обогащения полезных ископаемых с учетом приведенных рекомендаций позволит реализовать работу центробежного насоса на проектных режимах и повысить эффективность самой установки.

УДК 622.6

АНАЛИЗ НОРМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК

Г.Д. Трифанов^{1,2}, профессор

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,

ООО «Региональный канатный центр», Пермь, Россия,

В статье рассмотрены требования действующих норм проектирования шахтных подъемных установок и практика эксплуатации подъемных комплексов. Показано, что многие требования к шахтным подъемным установкам требуют корректировки, направленной на повышение интенсивности их работы. Применение систем непрерывного контроля повышает стабильность работы и производительность подъемной установки.

Ключевые слова: шахтные подъемные установки, нормы проектирования, резерв производительности, время работы.

ANALYSIS OF DESIGN STANDARDS FOR MINE HOIST PLANTS

G. D. Trifanov

The article examines the requirements of the current standards for the design of mine hoists and the practice of operating hoisting systems. It is shown that many requirements for mine hoists require adjustments aimed at increasing the intensity of their operation. The use of continuous monitoring systems increases the stability of operation and the productivity of the hoist.

Keywords: mine hoists, design standards, productivity reserve, operating time.

Перечень действующих нормативных документов в сфере деятельности Ростехнадзора периодически обновляется. В настоящее время действует приказ Ростехнадзора № 250 от 02.07.2021 «Об утверждении Перечня нормативных правовых актов и нормативных документов, относящихся к сфере деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (раздел I «Технологический, строительный, энергетический надзор») П-01-01-2021» [1] с изменениями по приказу Ростехнадзора № 87 от 27.02.2023. К действующим отнесены Временные нормы технологического проектирования угольных и сланцевых шахт (ВНТП 1–92) [2] в которых приведены нормы проектирования новых и реконструируемых шахтных подъемных установок. ВНТП 1–92 введены взамен Общесоюзных нормы технологического проектирования шахтных подъемных установок (ОНТП 5–86) [3] и Изменений к ним [4]. При этом требования ВНТП 1-92 практически полностью повторяют нормы 1986 года. Таким образом, нормы проектирования современных шахтных подъемных установок базируются на результатах исследований, выполненных в 80-е годы прошлого столетия.

Современные шахтные подъемные установки значительно отличаются от установок более чем полувековой давности. В первую очередь это относится к электроприводу, обеспечивающему возможность плавного регулирования скорости движения подъемных сосудов, автоматизации управления и контроля состояний оборудования установки. Применение дисковых тормозов не только повышает быстродействие тормозной системы, но и

позволяет существенно снизить динамические нагрузки в подъемных канатах, подвесных и других устройствах установки. Шахтные подъемные установки оснащены регистраторами параметров, обеспечивающими непрерывный контроль и регистрацию параметров работы подъемного комплекса. Анализ результатов инструментального контроля позволяет своевременно выявлять возможные отклонения в работе шахтного подъема и принимать меры по их устранению.

Действующие нормы проектирования не позволяют реализовать возможности современных подъемных установок. Рассмотрим влияние норм проектирования на расчетную производительность шахтных подъемных установок. Годовая производительность подъёмной установки определяется зависимостью

$$A_{\text{год}} = \frac{nQ_{\text{п}}bt_{\text{сут}}}{c}, \text{ т/сут},$$

где n – количество циклов подъёма в час; $Q_{\text{п}}$ – грузоподъёмность сосуда, т; b – число рабочих дней в году; $t_{\text{сут}}$ – время работы подъёмной установки в сутки, час; c – коэффициент резерва производительности и неравномерности работы подъёмной установки.

Число рабочих дней в году определяется графиком горнодобывающего предприятия в целом. Этим графиком предусмотрены ежемесячные обслуживание оборудования, полугодовые и годовые текущие ремонты, совмещенные с ревизией, наладкой и испытанием подъёмных установок [5]. Время работы подъёмной установки в сутки определяется Технологическим регламентом эксплуатации шахтных подъемных установок, в котором предусмотрены ежесменное и ежесуточное техническое обслуживание оборудования шахтного подъема.

Количество циклов подъёма в час зависит диаграммы изменения скорости движения подъемных сосудов (тахограммы подъема). Нормы проектирования однозначно требуют работу подъемных установок по семипериодной диаграмме с ограничениями ускорений и замедлений системы, скорости и продолжительности движения в начале и конце цикла. Эти требования не учитывают возможности современных систем автоматического управления приводом и тормозной системой современных подъемных машин ограничивая их производительность.

Важным параметром, существенно влияющим на расчетную производительность скиповой подъемной установки, является коэффициент резерва производительности и неравномерности работы подъёмной установки. Неравномерность поступления груза к стволу во многом определяется технологией добычи полезного ископаемого и ритмичностью рудничного транспорта. Современные средства доставки и технология добычи обеспечивают равномерность поступления горной массы к шахтному стволу. На большинстве горных предприятий предусмотрены приемно-аккумулирующие бункеры большой вместимости, которые также способ-

ствуют стабильности работы шахтных подъёмных установок. В этих условиях коэффициент резерва производительности и неравномерности работы подъёмной установки может быть принят равным 1,1. Следует отметить, что на некоторых рудниках при расчете производительности подъёмного комплекса принимают коэффициент неравномерности работы скиповой подъёмной установки равным 1,6 и более, включая в этот параметр время на обслуживание и ремонты оборудования, контроль и регулировку натяжения подъёмных канатов, другие неучтенные операции. По мнению автора все эти дополнительные операции должны быть включены в показатель «время работы подъёмной установки в сутки». Это позволяет более точно планировать затраты времен на конкретные операции, оценить влияние тех или иных работ на производительность подъёмной установки. Внедрение систем непрерывного инструментального контроля работы подъёмного комплекса, разработка мероприятий по эксплуатации канатов до полноценного использования их ресурса и другие действия, направленные сокращение вспомогательных операций, в этом случае, могут быть конкретно оценены как вклад в увеличение времени работы подъема. На рудниках, где шахтный подъем определяет производительность горнодобывающего предприятия в целом обоснованное увеличение производительности подъёмных установок дает значительный экономический эффект.

Список литературы

1. Приказ Ростехнадзора от 02.07.2021 №250 «Об утверждении Перечня нормативных правовых актов и нормативных документов, относящихся к сфере деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (раздел I «Технологический, строительный, энергетический надзор») П-01-01-2021». URL: https://www.con-sultant.ru/document/cons_doc_LAW_396948/.
2. Временные нормы технологического проектирования угольных и сланцевых шахт. ВНТП 1–92. (Утв. Комитетом угольной промышленности Министерства топлива и энергетики РФ) / Минтопэнерго России. – М., 1993. – 111 с. URL: https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=STR&n=17509#2eUBGeUKCupyg_PdR1.
3. Общесоюзные нормы технологического проектирования шахтных подъёмных установок. ОНТП 5–86. (Утверждены Мин-углепромом СССР 31 марта 1986 г. по согласованию с Госстроем СССР и Госгортехнадзором СССР) Минуглепром СССР, Москва, 1986. 26 с.
4. Изменения общесоюзных норм технологического проектирования шахтных подъёмных установок ОНТП 5–86. (Утверждены Минуглепромом СССР 15 сентября 1987 и согласованы с Госгортехнадзором СССР) Минуглепром СССР, Москва, 1987. – 20 с.
5. Руководство по ревизии, наладке и испытанию шахтных подъёмных установок/ под общ. ред. В.А. Корсуна, Г.Д. Трифанова. 4-е изд., перераб. и доп. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. 615 с.

УДК: 621.879.48

AUTOMATED CONTROL SYSTEMS FOR THE WORKING PROCESS OF A MINING ROTARY EXCAVATOR

Lukashuk O. A., docent, **Maalaoui Hamed**, PhD student, Tunisia
Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg

Automation of the control of the work process of a rotary excavator is associated with fundamental and technical difficulties since the work process of an excavator is characterized by a large uncertainty of the production situation. It is known that the most effective and easiest to implement automation of processes with a high repeatability of the production situation. One of the main ways to increase the rotary excavator productivity is to automate excavator operation. The article gives another perspective for the rotary excavator's technical control system and explains how it should affect the entire machine's productivity and performance.

Keywords: rotary excavator, rotor, mining, control system, control channels, productivity.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАБОЧИМ ПРОЦЕССОМ РОТОРНОГО ЭКСКАВАТОРА

Лукашук О.А., Маалаоуй Хамид

За последние несколько десятилетий в горнодобывающей промышленности произошли важные изменения в области автоматизации, направленные на повышение эффективности, безопасности и точности работы оборудования. Роторные экскаваторы используются для крупномасштабных операций по добыче полезных ископаемых; однако сложные движения ротора создают проблемы управления и оптимизации. В данной работе описывается разработка и оценка усовершенствованной системы управления, предназначенной для улучшения движений ротора карьерного роторного экскаватора. Предлагаемая система управления движениями ротора разработана специально для экскаваторов с удлиненной или телескопической стрелой и ориентирована на использование в рамках программного и ручного управления.

Ключевые слова: роторный экскаватор, ротор, горные работы, система управления, каналы управления, производительность.

The mining industry has long been a cornerstone of global economic development, providing essential raw materials for infrastructure, energy, and technology. However, the industry faces persistent challenges, including the need to improve operational efficiency, ensure worker safety. In recent decades, automation has emerged as a transformative solution, enabling mining operations to achieve higher productivity, precision, and sustainability. Among the various types of mining equipment, rotary excavators—particularly bucket-wheel excavators—play a critical role in large-scale surface mining operations. These machines are designed to handle massive volumes of material, making their efficiency and reliability vital to the overall success of mining projects.

Despite their importance, rotary excavators face significant operational challenges, particularly in controlling the complex movements of their rotors. The rotor, which performs critical functions such as digging, lifting, and dumping, requires precise control to ensure optimal performance. Traditional control systems often struggle to manage the dynamic and nonlinear nature of rotor movements, leading to inefficiencies, increased wear and tear, and higher energy consumption. These limitations underscore the need for advanced control sys-

tems that can enhance the precision, stability, and efficiency of rotary excavators.

This article focuses on addressing this requirement by introducing the creation and examination of a new control system aimed at the rotor movements of a mining rotary excavator. The system in question utilizes modern sensor technology along with sophisticated control algorithms. It incorporates both manual and programmable control settings, promoting accurate and effective operation. The control framework is organized into three primary components: the Measurement and Visual System, the Command Controller, and the Movement Control. This new control setup presents a strong solution for handling the tricky movements associated with a rotary excavator rotor by merging advanced visual input, accurate control systems, and adaptable working modes.

The significance of this research lies in its potential to revolutionize rotary excavator operations, offering benefits such as increased productivity, reduced energy consumption, and enhanced safety. Furthermore, the findings of this study contribute to the broader field of mining automation, providing insights into the application of advanced control systems in heavy machinery. As the mining industry continues to evolve, the development of intelligent and efficient control systems will play a pivotal role in shaping its future.

Autonomous haulage systems (AHS) have revolutionized open-pit mining by enabling trucks to operate without human intervention, significantly reducing accidents and operational costs [1]. Similarly, remote-controlled drilling rigs have enhanced precision and efficiency in underground mining operations [2]. These advancements demonstrate the transformative potential of automation in addressing the challenges faced by the mining industry. Traditional control systems for rotary excavators often rely on manual operation or basic automation, which can lead to inefficiencies, increased wear and tear, and higher energy consumption. For example, a study by Müller [3] found that manual control of bucket-wheel excavators resulted in a 20% loss in operational efficiency due to human error and inconsistent performance. These limitations underscore the need for advanced control systems that can enhance the precision and stability of rotor movements.

Recently, there has been notable progress in creating advanced control systems for rotary excavators. A key improvement has been the application of PID control algorithms that manage rotor speed and position. For example, a study conducted by Ivanov et al. [4] showed that using a PID control system could enhance the precision of rotor movements by 15% when compared to older systems. However, PID controllers frequently have difficulty dealing with the non-linear and everchanging dynamics of rotor motion, especially under different working conditions. In more recent developments, machine learning algorithms have started to be incorporated into rotary excavator control systems. Kumar et al. [5] explored the use of reinforcement learning to create an adaptive control system capable of adjusting rotor movements in Realtime based on sensor data. This system realized a 30% increase in operational efficiency and a 20% de-

crease in mechanical stress. These innovations highlight the expanding influence of artificial intelligence in mining automation.

Despite these advancements, several gaps remain in the development of control systems for rotary excavators. This study addresses several critical gaps in existing research on rotary excavator control systems. By introducing a system that integrates manual and programmatic control, provides real-time feedback, optimizes movement cycles, and stabilizes rotor speeds under heavy loads, the study makes a significant contribution to the field. The proposed system presented in fig.1 not only enhances the precision and efficiency of excavation operations but also offers the flexibility needed to adapt to varying operational conditions and equipment configurations. These advancements pave the way for future innovations in the automation and optimization of rotary excavator control systems.

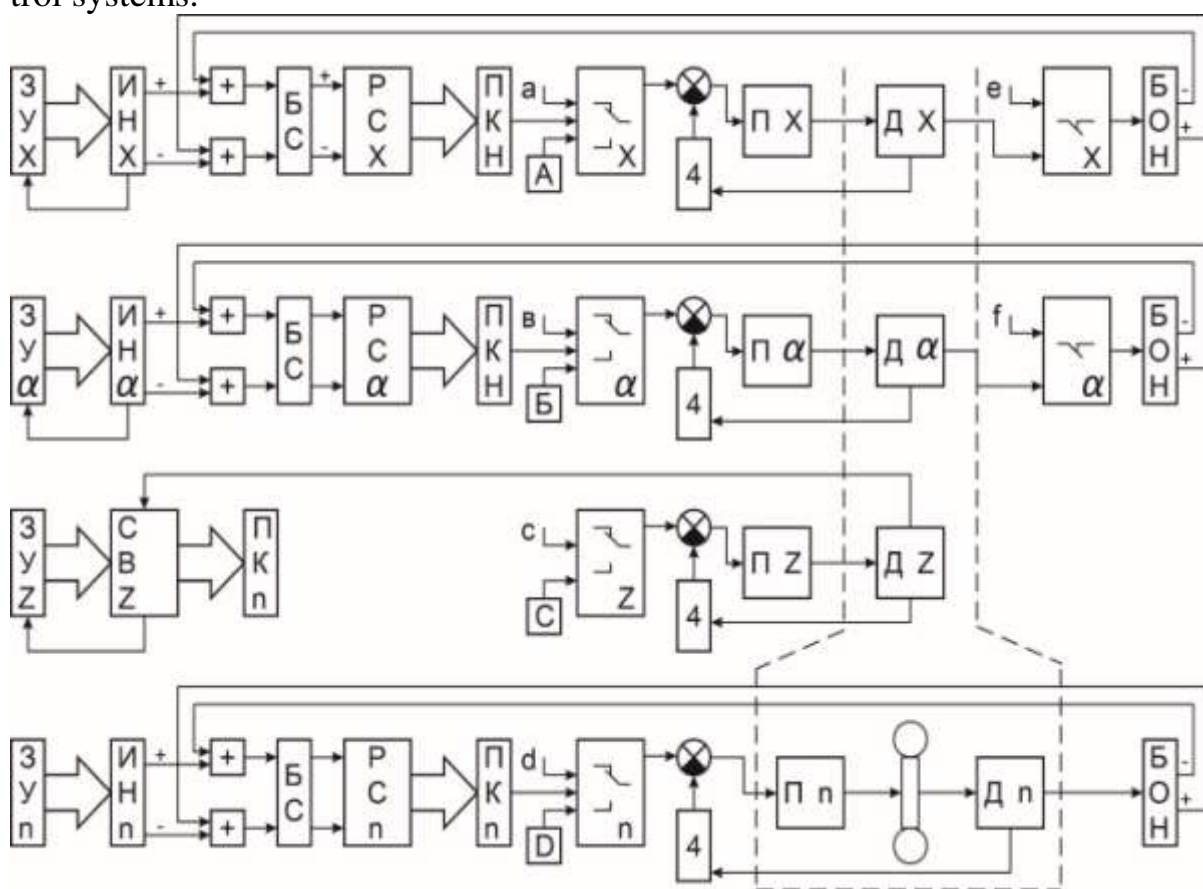


Fig. 1. The rotor movement control system of a quarry bucket wheel excavator.

In manual mode, the operator takes control, using the video camera and laser rangefinder to guide the rotor's movements. The operator can choose from several movement cycles, depending on the excavation requirements and the rotor's design. These cycles include sequential movements along the X, α , and Z coordinates, with options for combining movements to optimize productivity [6].

The system also features mechanisms for speed stabilization to manage the heavy and often fluctuating loads faced during excavation. These mechanisms

utilize comparators and frequency meters to maintain steady drive speeds, reducing any disruptions in operation. While the suggested control system aims to boost efficiency, it does have some drawbacks, such as its dependence on Realtime feedback, the complexity of its movement cycles, and how well it adapts to extreme situations. Addressing these challenges will need thoughtful planning, training for operators, and additional research to ensure the system's effectiveness in a variety of settings.

Future studies should concentrate on important areas to improve the capabilities and use of the proposed control system. Furthermore, it's necessary to assess the system's reliability in challenging environments, like uneven or unstable terrains, to uncover possible enhancements to stabilization methods or alternative control approaches. Creating more sophisticated and dependable feedback systems, which may include backup sensor systems, could increase accuracy and dependability. Investigating programs for operator training and designing user interfaces is also crucial to help operators make the most of the system's features. Additionally, finding methods to boost the energy efficiency of the control system could cut down on operating expenses and lessening environmental effects. Lastly, crafting modular and scalable control systems would broaden access to technology across various excavator types and operational sizes, thereby extending its use in different fields and applications.

References:

1. Smith, J., et al. (1995). "Autonomous Haulage Systems in Open-Pit Mining." *Journal of Mining Engineering*, 12(3), 45-60
2. Jones, R., et al. (2008). "Remote-Controlled Drilling Rigs: Enhancing Precision in Underground Mining." *International Journal of Mining Technology*, 20(4), 112-125.
3. Müller, H., et al. (2015). "Challenges in Manual Control of Bucket-Wheel Excavators." *Journal of Mining Operations*, 10(1), 34-48.
4. Ivanov, P., et al. (2017). "PID Control for Rotary Excavator Rotor Movements." *Control Systems in Mining*, 8(3), 56-70.
5. Kumar, S., et al. (2021). "Reinforcement Learning for Adaptive Control of Rotary Excavators." *AI in Mining*, 18(1), 23-37.
6. Liberman Ya.L., Lukashuk O.A., Maalaoui H., Davydova V.V. Control system for rotor movement of a quarry bucket wheel excavator // *Mining equipment and electromechanics*. 2024. No. 6 (176). P. 65-72. (In russ).

УДК 622.331:629.1.032.1

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ХОДОВОЙ СИСТЕМЫ ГУСЕНИЧНЫХ ТОРФЯНЫХ МАШИН

Швец Н.Ф., Гамаюнов С.Н.

ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь, РФ

Рассматриваются основные параметры, которые необходимо учитывать при проектировании гусеничных ходовых устройств для торфяных машин. Гусеницы являются одним из ключевых элементов, которые обеспечивают мобильность, проходимость и эффективность работы таких машин в сложных условиях. Важно правильно подобрать их параметры — ширину и длину — для того, чтобы обеспечить надежную эксплуатацию торфяной машины. Представлены уравнения по определению параметров опорной поверхности гусеничного хода торфяного оборудования.

Ключевые слова: гусеничный ход, торфяной грунт, торфяная машина, параметры, проектирование, размеры гусеницы, расчёт

DESIGNING THE BASIC PARAMETERS OF THE UNDERCARRIAGE SYSTEM OF TRACKED PEAT MACHINES

N.F. Shvets, S.N. Gamayunov

The main parameters that must be taken into account when designing tracked running gear for peat machines are considered. Tracks are one of the key elements that ensure the mobility, maneuverability and efficiency of such machines in difficult conditions. It is important to choose their parameters correctly — width and length — in order to ensure reliable operation of the peat machine. Equations for determining the parameters of the track bearing surface of peat equipment are presented.

Keywords: caterpillar track, peat soil, peat machine, parameters, designing, track dimensions, calculation

Торфяные машины играют ключевую роль в процессе производства торфа, который используется в различных отраслях национальной экономики [1]. Одним из основных элементов конструкции торфяных машин являются гусеничные ходовые устройства, которые обеспечивают их мобильность и проходимость по сложным и слабым торфяным грунтам [2].

Торфяные грунты имеют специфические физико-механические свойства, которые значительно отличаются от свойств других типов грунтов [3]. Они характеризуются низкой несущей способностью, высокой пористостью, значительной деформацией под нагрузкой, агрессивностью среды из-за кислотности и высокого влагосодержания. Эти факторы влияют на выбор конструкции и параметров гусеничных ходовых устройств и требуют, чтобы ходовая система обеспечивала минимизацию удельного давления на грунт, равномерное распределение нагрузки и коррозионной стойкости конструкционных материалов.

При проектировании гусеничных ходовых устройств торфяных машин необходимо учитывать следующие ключевые параметры [4]: размеры гусениц; конструкция гусеничного устройства; подвеска; мощность и тяговое усилие; устойчивость и маневренность.

Размеры гусениц, включая их ширину и длину, напрямую влияют на распределение нагрузки на грунт и проходимость машины. Широкие гусе-

ницы обеспечивают большую площадь контакта с поверхностью, что снижает давление на грунт и уменьшает вероятность увязания. При этом необходимо учитывать, что увеличение ширины гусениц может привести к усложнению конструкции и увеличению массы машины.

Конструкция гусеничного устройства должна обеспечивать надежное сцепление с грунтом и устойчивость машины. Важно учитывать такие факторы, как форма и профиль гусениц, а также наличие специальных элементов, таких как шипы или ребра жесткости, которые могут улучшить сцепление и проходимость.

Эффективная система подвески играет важную роль в обеспечении стабильности и комфорта работы торфяной машины. Подвеска должна быть спроектирована таким образом, чтобы минимизировать колебания и удары, передающиеся на корпус машины, что особенно важно при работе на неровных и болотистых участках.

При проектировании гусеничных ходовых устройств необходимо учитывать мощность двигателя и требуемое тяговое усилие для выполнения поставленных задач. Тяговое усилие должно быть достаточным для преодоления сопротивления грунта, а также для выполнения маневров на сложных участках.

Устойчивость торфяной машины зависит от ее центра тяжести и распределения массы. При проектировании гусеничных ходовых устройств необходимо учитывать, как различные параметры конструкции влияют на устойчивость машины, особенно при работе на наклонных или неровных поверхностях. Маневренность также является важным аспектом, который следует учитывать, особенно в условиях ограниченного пространства.

Обычно для выбора рациональных параметров ходовой системы используются традиционные расчетные методы и формулы, основанные на расчете давления на грунт и определении несущей способности грунта [5].

Для оптимизации параметров ходовой системы можно использовать методы математического моделирования и компьютерного анализа [6]. Это позволяет учитывать множество факторов, таких как динамические нагрузки, условия эксплуатации и характеристики грунта.

Таким образом, определение параметров гусеничных ходовых устройств торфяных машин является сложной задачей, требующей учета множества факторов, связанных с характеристиками торфяных грунтов и условиями эксплуатации.

Здесь акцентировано внимание на первом параметре – ширине и длине гусеницы и взаимосвязанных с ними другими характеристиками ходовой системы торфяных машин.

Ширина гусеницы определяет площадь контакта с грунтом. Однако, хотя увеличение ширины снижает удельное давление, но слишком широкие гусеницы могут стать причиной дополнительной сложности в маневрировании и, как следствие, износу узлов и повышению расхода топлива. Поэтому важно найти баланс между проходимостью и маневренностью.

Принято считать, что оптимальная ширина гусениц торфяных машин варьирует в диапазоне от 600 до 1000 мм, однако в некоторых случаях может быть выбрана и другая ширина, в зависимости от специфики работы.

Длина гусениц также играет важную роль в обеспечении проходимости, а также влияет на устойчивость и радиус поворота. Однако увеличение длины гусениц связано с рядом недостатков, опять же: уменьшение маневренности и увеличение расхода топлива. Оптимальная длина гусениц зависит от специфики работы машины, условий месторождения торфа и геометрических размеров самой машины. Обычно длина гусениц составляет от 3 до 4 метров, но в отдельных случаях может быть и меньше.

Поэтому важно при проектировании гусениц найти оптимальное соотношение между их длиной и шириной, чтобы сохранить хорошую маневренность и проходимость машины [7].

При проектировании гусеничного хода торфяной машины весом G_0 определяются геометрические параметры опорной поверхности: L – длина гусеницы, b – ширина гусеницы, B – поперечная база, e_x – координата центра давления [8].

Для снижения себестоимости и повышения надежности проектируемого гусеничного хода вполне оправдано применение для его изготовления серийно выпускаемых треков. Поэтому за основной параметр в расчетах была принята ширина гусеницы b . После объединения и преобразования известных формул по определению краевых давлений, зависящих от свойств залежи, а также от геометрических параметров гусеницы, было получено выражение для определения ширины гусеницы:

$$b = \frac{2K_P(G_0/2K_L)}{B_d\left(\frac{2}{K_L} + 2\right) + \sqrt{\left(B_d\left(\frac{2}{K_L} + 2\right)\right)^2 + 4K_P \frac{G_0}{2K_L} A_d}},$$

где $K_P = P_1/P_0$ – коэффициент максимального давления, определяется, как отношение максимальное краевого давления к среднему; $K_B = L/B$ – коэффициент поперечной базы; $K_L = L/b$ – коэффициент длины гусеницы; A_d и B_d – эмпирические коэффициенты, зависящие от свойств залежи.

Именно коэффициенты K_L и K_B влияют на управляемость машины и выбираются исходя из условий ее эксплуатации. Установлено, что значения коэффициент поперечной базы K_B варьирует в узких пределах: $K_B = 1 \dots 2$. Коэффициент длины гусеницы варьирует более в широких пределах в зависимости от несущей способности грунта – $K_L = 2,8 \dots 6,5$, которая чем ниже, тем коэффициент принимает меньшие значения.

Коэффициенты допускаемого давления при работе торфяной гусеничной техники на подготовленных полях производства торфа имеют значения: $A_d = 20$ кПа, $B_d = 3,3$ кПа·м.

После определения расчетной величины b из каталогов выбирается наиболее близкое предложение гусеничного хода. После чего производится проектный расчет длины опорной части гусеницы L и поперечной базы машины B . Кроме того, уточняются величины среднего удельного, максимального краевого и допускаемого давлений, а также координата центра давления.

Изменяя те или иные переменные, входящие в предложенную математическую модель расчета гусеничного хода, можно найти наиболее близкий к оптимальному вариант его геометрических размеров для дальнейшего проектирования торфяной машины в целом, учитывая другие ключевые параметры.

Таким образом, определение параметров гусеничных ходовых устройств торфяных машин является сложной задачей, требующей учета множества факторов. Правильный выбор ширины и длины гусениц для торфяных машин, конструкции их устройства, в совокупности с учетом других параметров, позволит спроектировать эффективную и надежную технику для работы в сложных условиях торфяных месторождений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Машины и оборудование торфяных производств / Б.Ф. Зюзин, А.И. Жигульская, П.А. Яконовский, Т.Б. Яконовская. — Тверь: ТвГТУ, 2015. — 160 с.
2. Торфяные машины и комплексы / С.Г. Солопов, Л.О. Горцакалян, Л.Н. Самсонов, В.И. Цветков. — М.: Недра, 1981. — 416 с.
3. Зюзин, Б.Ф. Механика торфа и торфяной залежи / Б.Ф. Зюзин, А.И. Жигульская, С.А. Юдин. — Тверь: ТвГТУ, 2020. — 112 с.
4. Самсонов, Л.Н. Торфяные машины и оборудование: Ч. I. Взаимодействие ходовых устройств с торфяной залежью / Л.Н. Самсонов, В.Ф. Сеницын. — Тверь: ТвГТУ, 1995. — 144 с.
5. Копенкина, Л.В. Проектирование торфяных машин (к 100-летию ТвГТУ и кафедры технологических машин и оборудования) / Л.В. Копенкина // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». — 2022, № 2 (14). — С. 91–99.
6. Сеницын, В.Ф. Программное обеспечение решения задачи уравнивания торфяной гусеничной машины при проектировании / В.Ф. Сеницын // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2002. № 1. — С. 234–236.
7. Либик, В.К. Выбор рациональных параметров ходовой системы прицепных гусеничных торфяных машин: дис. ... канд. техн. наук: 05.15.05 / Валерий Кириллович Либик. — Ленинград, 1984. — 179 с.
8. Сеницын, В.Ф. Научные основы проектирования параметров ходовых и фрезерующих устройств торфяных машин: дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.05 / Вячеслав Федорович Сеницын. — Тверь, 1998. — 355 с.

УДК 621.879

ОЦЕНКА УСИЛИЯ КОПАНИЯ КОВШОМ ЭКСКАВАТОРА ПРИ ФИЗИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ

Шешукова Е.И., Плащинский В.А., Салимов А.Э., Иванов С.Л.

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург

Экскаватор является основной машиной в открытой добыче полезных ископаемых. В процессе своей работы он подвержен возникновению различных деградиционных процессов в системе, степень влияния которых напрямую зависит от условий эксплуатации. Оценив степень влияния этих условий в отличие от нормальных (базовых) условий эксплуатации, можно оценить насколько быстрее или медленнее расходуется ресурс экскаватора в работе. Это позволит скорректировать график проведения работ по техническому обслуживанию и ремонту, который, как правило, назначается для одной машины единым, не учитывая условия ее эксплуатации.

Ключевые слова: моделирование, критерии подобия, физическая модель, гранулометрический состав, толщина стружки, усилие копания, ковш экскаватора, открытые горные работы.

ESTIMATION OF EXCAVATOR BUCKET DIGGING EFFORT IN PHYSICAL MODELING

Sheshukova E.I., Plaschinsky V.A., Salimov A.E., Ivanov S.L.

The excavator is the main machine in open-pit mining. In the course of its work, it is subject to various degradation processes in the system, the degree of influence of which directly depends on the operating conditions. By assessing the degree of influence of these conditions, as opposed to normal (basic) operating conditions, it is possible to assess how much faster or slower the excavator's life is consumed in operation. This will allow you to adjust the schedule of maintenance and repair work, which, as a rule, is assigned to a single machine, without taking into account its operating conditions.

Keywords: modeling, similarity criteria, physical model, granulometric composition, chip thickness, digging force, excavator bucket, open-pit mining.

Карьерный экскаватор является машиной, работающей в различных условиях эксплуатации. Для поддержания его в работоспособном состоянии необходимо обеспечивать проведение качественного и своевременного технического обслуживания и ремонта [1]. При этом график проведения мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту остается единым для каждой модели экскаватора и не учитывает степень влияния условий эксплуатации, отличающихся от нормальных.

Опираясь на энергетический подход в оценке ресурса изучаемой машины, определив изменение степени расходования ресурса как отношение работы экскаватора за цикл при реальных условиях эксплуатации и работы экскаватора за цикл при базовых условиях, можно корректировать периодичность проведения мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту с учетом реальных условий эксплуатации. Также этот подход позволяет определить как изменение одного или сразу нескольких условий влияет на скорость расходования ресурса машины. Для этого необходимо определить значение работы (нагрузок) при реальных и базовых условиях [2, 3].

Идея исследования заключается в проведении математического моделирования процесса копания ковшем экскаватора с изменением крупности модельной породы и ее насыпной плотности. Для реализации математического моделирования, соответствия его реальности и адекватности, было проведено физическое моделирование указанного процесса в лабораторных условиях [4].

Для этого был создан лабораторный стенд, на котором по направляющим по линейной траектории в движение приводится ковш, соответствующий в масштабе реальным размерам ковша карьерного экскаватора ЭКГ-18Р, согласно линейному коэффициенту k_l равному 20.

Установив возможности проведения эксперимента в лабораторных условиях и задавшись масштабным коэффициентом усилия k_F равным 32000, были определены масштабный коэффициент объемного веса k_γ и сцепления k_c , равные 4 и 80, соответственно. Опираясь на полученные коэффициенты, в качестве модельной породы был выбран керамзит фракции 0-0,005 м с насыпной плотностью 300-400 кг/м³ и коэффициентом сцепления 200 Па, согласно ГОСТ 32495-2013.

Согласно линейному коэффициенту создан лабораторный стенд, который представляет собой короб с двумя направляющими, по которым с помощью внешнего воздействия двигается ковш. Усилие, прилагаемое для передвижения ковша и, соответственно, осуществления процесса копания фиксируется динамометром.

Для выбранной модельной породы проведены 6 серий экспериментов с разными заданными величинами срезаемой стружки. В каждой серии экспериментов выполнено 10 независимых замеров величины усилия копания, итоговой величиной для каждой серии выбрана средняя величина зафиксированных значений.

На основе полученных средних значений усилия копания при заданных величинах стружки получена функциональная зависимость усилия копания от заданной стружки, которая выражается формулой:

$$F_m = 57533t_m^3 - 6286,9t_m^2 + 579,55t_m + 0,0209,$$

где F_m – усилие, необходимое для осуществления процесса копания модельной породы, Н, t_m – величина срезаемой стружки на модели, м.

Полученные значения усилия при проведении эксперимента были сопоставлены с расчетной величиной усилия сопротивления копанию натуральной породы (каменного угля). Совпадение полученных величин составило 99,7%, что доказывает адекватность модели и эксперимента, а также дальнейшую возможность применения полученной зависимости, опираясь на определенные выше критерии подобия, для реальных условий эксплуатации.

Опираясь на полученную зависимость и методику проведения эксперимента, была создана математическая модель процесса копания. В дан-

ный момент проходит калибровка созданной модели для ее соответствия реальным условиям копания.

При проведении эксперимента в лабораторных условиях, сложно подобрать в соответствии с критериями подобия альтернативную породу, соответствующую идее исследования.

Авторами преследуется идея проведения математического моделирования с изменением крупности породы при одинаковом значении насыпной плотности, а также с изменением насыпной плотности при одинаковой крупности породы. Это позволит оценить степень влияния крупности и насыпной плотности породы на изменение величины усилия копания, соответственно, изменение нагрузок на приводы рабочего оборудования экскаватора, и тем самым оценить скорость расходования их ресурса.

Список литературы.

1. Структура системы технического обслуживания и ремонта горных машин / Е. С. Недашковская, Е. И. Шешукова, А. С. Корогодина [и др.] // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2024. – № 25. – С. 155-162. – DOI 10.26160/2658-3305-2024-25-155-162. – EDN EDTFWN.
2. В.С.Великанов. Прогнозирование нагруженности рабочего оборудования карьерного экскаватора по нечетко-логистической модели // Записки Горного института. 2020. Т.241. С.29-36. DOI:10.31897/PMI.2020.1.29.
3. Оценка степени противодействия двигателей приводов главных механизмов карьерного экскаватора / А. П. Комиссаров, О. А. Маслеников, Р. Ш. Набиуллин, С. А. Хорошавин // Горное оборудование и электромеханика. – 2022. – № 6(164). – С. 10-16. – DOI 10.26730/1816-4528-2022-6-10-16. – EDN NIDNFT.
4. Моделирование процесса копания ковшем экскаватора породы при заданной величине стружки / Е. И. Шешукова, В. А. Плащинский, А. Э. Салимов [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2024. – № S21. – С. 3-12. – DOI 10.25018/0236_1493_2024_12_21_3. – EDN TAMZIS.

УДК 622.331

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ НА ИЗГИБ КУСКОВОГО ТОРФА С РАЗЛИЧНЫМИ ФОРМАМИ ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЙ

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

Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Россия

Представлена методика по оценке изгибной прочности образцов кускового торфа круглого, прямоугольного, трапецеидального, трубчатого и квадратно-пустотелого сечений.

Ключевые слова: кусковой торф, прочность на изгиб, момент сопротивления, разрушающая нагрузка, максимальный момент, формы сечений, испытательный стенд.

DETERMINATION OF THE BENDING STRENGTH OF SOD PEAT WITH VARIOUS SECTIONAL SHAPES

Yablonev A.L., Scherbakova D.M.

A method for assessing the bending strength of sod peat samples of round, rectangular, trapezoidal, tubular and square-hollow cross-sections is presented.

Keywords: sod peat, bending strength, modulus of resistance, breaking load, maximum moment, section shapes, test bench.

Большинство технологических операций при механизированной добыче кускового торфа после его формования (ворочка, валкование, переукладка валков, уборка) связано с изгибными деформациями куска [1–3], поэтому из всех видов испытаний, испытания на изгиб являются наиболее информативными, дающими представление о возможной крошимости кусков. С целью их проведения в ТвГТУ разработана, запатентована и создана конструкция механического стенда для испытания образцов кускового торфа на изгибную прочность. Проведена серия экспериментов по оценке энергоемкости формования торфа [4, 5] и изгибной прочности кусков круглого сечения [6, 7]. Разработана методика по оценке прочности на изгиб образцов круглого и прямоугольного сечения. Кроме того, поскольку в процессе экспериментов выявлена недостаточность предела измерения цифровым тензометрическим оборудованием максимальной разрушающей нагрузки (1 кН), создаваемой стендом, разработана также методика по расширению границ измерения нагрузки до 1,5 кН [8]. Однако все это ранее касалось только испытания образцов кускового торфа круглой и прямоугольной форм, в то время, как образцы трапецеидальной, кольцевой (трубчатой) и квадратно-пустотелой форм сечений не были испытаны, в связи с чем, методика проведения исследований требовала доработки.

На рисунке представлены силовая схема создания разрушающей нагрузки стендом и эпюра изгибающих моментов.

Приложенная в центре испытываемого образца нагрузка F (Н) вызывает равные реакции опор при условии, что плечи $L_1 = L_2$ (м):

$$R_A = R_B = \frac{1}{2} F. \quad (1)$$

Изгибающий момент (Н·м), действующий по всей длине L образца имеет максимальное значение в точке C приложения нагрузки:

$$M_{umax} = R_A \frac{L}{2} = \frac{1}{2} F \frac{L}{2} = 0,25FL . \quad (2)$$

Прочность образца на изгиб (Π_a) в наиболее нагруженной точке – есть отношение максимального изгибающего момента, действующего в сечении к моменту сопротивления образца изгибу W_x (м^3):

$$\sigma_u = \frac{M_{umax}}{W_x} . \quad (3)$$

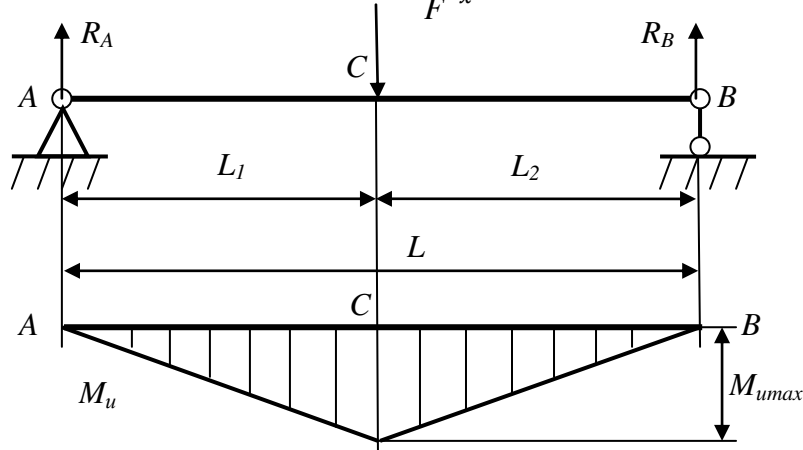


Рисунок. Схема создания разрушающей нагрузки и эпюра изгибающих моментов

Изгибающий момент ($\text{Н} \cdot \text{м}$), действующий по всей длине L образца имеет максимальное значение в точке C приложения нагрузки:

$$M_{umax} = R_A \frac{L}{2} = \frac{1}{2} F \frac{L}{2} = 0,25FL . \quad (2)$$

Прочность образца на изгиб (Π_a) в наиболее нагруженной точке – есть отношение максимального изгибающего момента, действующего в сечении к моменту сопротивления образца изгибу W_x (м^3):

$$\sigma_u = \frac{M_{umax}}{W_x} . \quad (3)$$

Зная, что момент сопротивления круглого образца наружным диаметром D (м) определяется по зависимости

$$W_{xкр} = \frac{\pi D^3}{32} [9], \quad (4)$$

а момент сопротивления прямоугольного образца – по зависимости

$$W_{xпр} = \frac{bh^2}{6} [9], \quad (5)$$

где b и h – ширина и высота сечения образца (м), соответственно, в работах [6, 7] были получены формулы для вычисления изгибающих напряжений $\sigma_{икр}$ и $\sigma_{ипр}$ для круглых и прямоугольных образцов кускового торфа, соответственно, с учетом (2 и 3):

$$\sigma_{икр} = \frac{8FL}{\pi D^3} , \quad \sigma_{ипр} = \frac{1,5FL}{bh^2} . \quad (6)$$

При трапецидальной форме сечений кускового торфа большое основание может располагаться сверху /1/ и снизу /2/, поэтому:

$$W_{хтр/1/} = \frac{h^2(a^2+4ab+b^2)}{12(a+2b)} , \quad W_{хтр/2/} = \frac{h^2(a^2+4ab+b^2)}{12(2a+b)} [10]. \quad (7)$$

Соответственно, прочность на изгиб для этих случаев:

$$\sigma_{\text{итр}/1/} = \frac{3FL(a+2b)}{h^2(a^2+4ab+b^2)} \quad \sigma_{\text{итр}/2/} = \frac{3FL(2a+b)}{h^2(a^2+4ab+b^2)}. \quad (8)$$

Для трубчатой формы куска с внутренним диаметром d и наружным D момент сопротивления и, соответственно, прочность на изгиб:

$$W_{\text{труб}} = \frac{\pi D^3}{32} \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right] [10], \quad \sigma_{\text{труб}} = \frac{8FL}{\pi D^3 \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right]}. \quad (9)$$

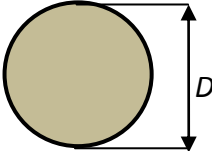
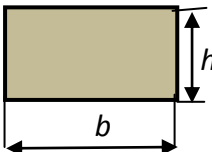
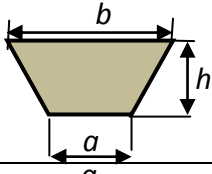
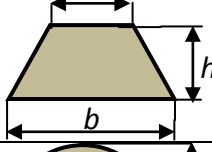
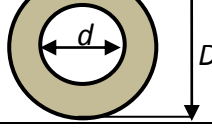
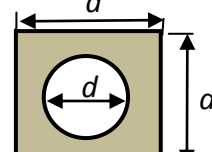
И, наконец, для квадратно-пустотелой формы со стороной квадрата a и внутренним диаметром d момент сопротивления и прочность на изгиб:

$$W_{\text{квп}} = \frac{16a^4 - 3\pi d^4}{96a} [11, 12], \quad \sigma_{\text{квп}} = \frac{24FL}{16a^4 - 3\pi d^4} [12]. \quad (10)$$

Для удобства все полученные формулы сведены в таблицу.

Таблица

Расчетные зависимости моментов сопротивления W_x и прочности на изгиб $\sigma_{\text{и}}$ для торфяных кусков различной формы площади поперечного сечения*

№ п/п	Тип формы поперечного сечения куска	Вид формы поперечного сечения куска	Расчетная зависимость момента сопротивления сечения W_x , м ³	Расчетная зависимость прочности на изгиб $\sigma_{\text{и}}$, Па
1	Круглая		$W_{\text{кр}} = \frac{\pi D^3}{32}$	$\sigma_{\text{кр}} = \frac{8FL}{\pi D^3}$
2	Прямоугольная		$W_{\text{пр}} = \frac{bh^2}{6}$	$\sigma_{\text{пр}} = \frac{1,5FL}{bh^2}$
3	Трапецидальная 1		$W_{\text{тмп}/1/} = \frac{h^2(a^2 + 4ab + b^2)}{12(a + 2b)}$	$\sigma_{\text{тмп}/1/} = \frac{3FL(a + 2b)}{h^2(a^2 + 4ab + b^2)}$
4	Трапецидальная 2		$W_{\text{тмп}/2/} = \frac{h^2(a^2 + 4ab + b^2)}{12(2a + b)}$	$\sigma_{\text{тмп}/2/} = \frac{3FL(2a + b)}{h^2(a^2 + 4ab + b^2)}$
5	Трубчатая (кольцевая)		$W_{\text{труб}} = \frac{\pi D^3}{32} \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right]$	$\sigma_{\text{труб}} = \frac{8FL}{\pi D^3 \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right]}$
6	Квадратно-пустотелая		$W_{\text{квп}} = \frac{16a^4 - 3\pi d^4}{96a}$	$\sigma_{\text{квп}} = \frac{24FLa}{16a^4 - 3\pi d^4}$

*Примечание. Предполагается, что разрушающая нагрузка F приложена к изображенным в таблице формам поперечного сечения куска сверху вниз.

Выводы

Таким образом, значительно расширены возможности проведения испытаний на изгибную прочность образцов кускового торфа с использованием разработанного и изготовленного стенда. Теперь можно оценивать прочность образцов круглого, прямоугольного, трапецеидального (с расположением большого основания сверху и снизу), трубчатого и квадратно-пустотелого сечений. Экспресс-метод оценки прочности образцов (не только торфа!) на изгиб с помощью разработанного стенда, позволит оперативно вносить коррективы в режимы настройки технологического производственного оборудования, что будет способствовать меньшей крошечности, а, следовательно – меньшим потерям продукции.

Список литературы

1. Справочник по торфу / А.В. Лазарев, С.С. Корчунов [и др.]. М.: Недра, 1982. 760 с.
2. Семенский Е.П. Технический анализ торфа. М.: Недра, 1966. 232 с.
3. Булышко М.Г., Иванов В.Н., Сарматов М.И. Брикетирование торфа. М.: Госэнергоиздат, 1962. 303 с.
4. Яблонев А.Л., Гусева А.М. Обоснование параметров шнекового пресса для добычи кускового торфа // В сб. «Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности». Мат-лы XVII Междун. научно-техн. конф. «Чтения памяти В.Р. Кубачека». Под общ. ред. Ю.А. Лагуновой. Екатеринбург, 4-5 апреля 2019 г. Екатеринбург: УГГУ, 2019. С. 172–175.
5. Гусева А.М., Яблонев А.Л. Обоснование рациональных параметров и режимов производства кускового торфа по показателям качества // В сб. «Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности». Мат-лы XIX Междун. научно-техн. конф. «Чтения памяти В.Р. Кубачека». Под общ. ред. Ю.А. Лагуновой. Екатеринбург, 20-21 мая 2021 г. Екатеринбург: УГГУ, 2021.
6. Яблонев А.Л., Гусева А.М. Механическое оборудование для испытания на прочность кускового торфа // В сб. «Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности». Мат-лы XVIII Междун. научно-техн. конф. «Чтения памяти В.Р. Кубачека», в год памяти и славы горняков, к 75-летию Победы в Великой Отечественной войне. Под общ. ред. Ю.А. Лагуновой. Екатеринбург, 2-3 апреля 2020 г. Екатеринбург: УГГУ, 2020. С. 84–87.
7. Яблонев А.Л., Гусева А.М. Определение прочности на изгиб формованной торфяной продукции // *Вестник ТвГТУ. Серия «Технические науки»*. 2019. № 3 (3). С. 47–55.
8. Яблонев А.Л., Гусева А.М. О возможности расширения границ создания и измерения разрушающей нагрузки при использовании механического стенда с цифровым динамометром и тензоскопой // *Вестник ТвГТУ. Серия «Технические науки»*. 2020. № 2(6). С. 65–70.
9. Степин П.А. Соппротивление материалов. М.: Высшая школа, 1988. 367 с.
10. Таблица. Изгиб. Осевые моменты инерции сечений (статические моменты сечений), осевые сопротивления и радиусы инерции плоских фигур. Режим доступа URL: <https://dpva.xyz/Guide/GuideMaterials/MaterialsResistant/MomentsOfInertion/> (дата обращения 14.08.2024)
11. Беликов Г.И. Геометрические характеристики поперечных сечений стержней. Волгоград: ВолгГАСУ, 2015. 57 с.
12. Яблонев А.Л. Формы сечений кускового торфа и его прочность на изгиб // *Вестник ТвГТУ. Серия «Технические науки»*. 2024. № 4(24). С. 29–36.

УДК 622.331

О РАЦИОНАЛЬНЫХ РАЗМЕРАХ КУСКОВОГО ТОРФА ТРУБЧАТОГО СЕЧЕНИЯ

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

Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Россия

Представлено теоретическое обоснование геометрических параметров добываемого кускового торфа с позиции прочности на изгиб, технологичности и равномерности сушки.

Ключевые слова: кусковой торф, прочность на изгиб, момент сопротивления, разрушающая нагрузка, испытательный стенд, трубчатая форма куска, шнековый пресс.

ON THE RATIONAL DIMENSIONS OF SOD PEAT OF TUBULAR CROSS-SECTION

Yablonev A.L., Scherbakova D.M.

The theoretical substantiation of the geometric parameters of extracted lump peat from the standpoint of bending strength, processability and uniformity of drying is presented.

Keywords: sod peat, bending strength, modulus of resistance, breaking load, test bench, tubular piece shape, screw press.

Анализ современной производственной практики добычи кускового торфа показал, что кроме круглого и прямоугольного сечения, получили распространение трапецеидальное, квадратно-пустотелое и трубчатое сечения куска [1, 2]. Наиболее перспективным следует считать именно трубчатое сечение, поскольку такой кусок имеет большую площадь поверхности, а, следовательно, быстрее и интенсивнее сохнет, легче загорается и стабильнее горит в твердотопливных котлах. Однако рациональное соотношение наружного D и внутреннего d диаметров трубчатого куска по ряду критериев, а также их значения является вопросом. Цель данной статьи – теоретически осветить данный аспект.

В работах [3–5] исследованы плотность и прочность кускового торфа в зависимости от режимов работы шнекового пресса, как параметров, определяющих, соответственно, его теплотворную способность и сохраняемость (отсутствие крошимости). Оценка прочности проводилась на разработанном и созданном стенде [4, 5] с использованием формулы:

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{M_{\text{иmax}}}{W_x}, \quad (1)$$

где $M_{\text{иmax}}$ – максимальный момент, действующий по длине куска L с наружным диаметром D и внутренним d при приложении нагрузки F во время испытаний; W_x – момент сопротивления сечения куска изгибу.

В работе [3] с использованием [6] получена формулы для оценки момента сопротивления кускового торфа трубчатой формы $W_{\text{хтруб}}$:

$$W_{\text{хтруб}} = \frac{\pi D^3}{32} \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4 \right], \quad (2)$$

Из (1) видно, что при одинаковом максимальном изгибающем моменте $M_{\text{иmax}}$ напряжение при изгибе будет больше у образца с меньшим моментом сопротивления изгибу W_x , и, соответственно, наоборот. При этом,

изгибающий момент создается разрушающей нагрузкой F и расстоянием между опорами L (а они для сравниваемых условий должны быть одинаковы). Для теоретического исследования изменения момента сопротивления образцов кускового торфа в зависимости от соотношения диаметров d/D с использованием (2) был произведен расчет, приведенный в таблице 1. Результаты расчета $W_x = f(d/D)$ представлены на рисунке.

Таблица 1

Расчет моментов сопротивления сечения трубчатого кускового торфа W_x в зависимости от соотношения внутреннего и наружного диаметров d/D

D , мм	d , мм	d/D	$1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4$	$W_x \cdot 10^6$, м ³	D , мм	d , мм	d/D	$1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4$	$W_x \cdot 10^6$, м ³
60	6	0,1	0,9999	21,204	140	14	0,1	0,9999	269,364
	12	0,2	0,9984	21,166		28	0,2	0,9984	268,879
	18	0,3	0,9919	21,034		42	0,3	0,9919	267,209
	24	0,4	0,9744	20,727		56	0,4	0,9744	262,495
	30	0,5	0,9375	19,881		70	0,5	0,9375	252,554
	36	0,6	0,8704	18,458		84	0,6	0,8704	234,478
	42	0,7	0,7599	16,114		98	0,7	0,7599	204,710
	56	0,8	0,5904	12,520		112	0,8	0,5904	159,048
	54	0,9	0,3439	7,293		126	0,9	0,3439	92,644
80	8	0,1	0,9999	50,260	160	16	0,1	0,9999	402,084
	16	0,2	0,9984	50,185		32	0,2	0,9984	401,360
	24	0,3	0,9919	49,858		48	0,3	0,9919	398,867
	32	0,4	0,9744	48,858		64	0,4	0,9744	391,830
	40	0,5	0,9375	47,123		80	0,5	0,9375	376,991
	48	0,6	0,8704	43,751		96	0,6	0,8704	350,009
	56	0,7	0,7599	38,196		112	0,7	0,7599	305,574
	64	0,8	0,5904	29,676		128	0,8	0,5904	237,414
	72	0,9	0,3439	17,286		144	0,9	0,3439	138,290
100	10	0,1	0,9999	98,165	180	18	0,1	0,9999	572,498
	20	0,2	0,9984	98,018		36	0,2	0,9984	571,467
	30	0,3	0,9919	97,380		54	0,3	0,9919	567,917
	40	0,4	0,9744	95,662		72	0,4	0,9744	557,898
	50	0,5	0,9375	92,039		90	0,5	0,9375	536,770
	60	0,6	0,8704	85,452		108	0,6	0,8704	498,352
	70	0,7	0,7599	74,603		126	0,7	0,7599	435,085
	80	0,8	0,5904	57,963		144	0,8	0,5904	338,036
	90	0,9	0,3439	33,762		162	0,9	0,3439	196,902
120	12	0,1	0,9999	169,629	200	20	0,1	0,9999	785,319
	24	0,2	0,9984	169,375		40	0,2	0,9984	783,906
	36	0,3	0,9919	168,272		60	0,3	0,9919	779,036
	48	0,4	0,9744	165,303		80	0,4	0,9744	767,648
	60	0,5	0,9375	159,043		100	0,5	0,9375	736,311
	72	0,6	0,8704	147,660		120	0,6	0,8704	683,610
	84	0,7	0,7599	128,914		140	0,7	0,7599	596,824
	96	0,8	0,5904	100,159		160	0,8	0,5904	463,699
	108	0,9	0,3439	58,341		180	0,9	0,3439	270,098

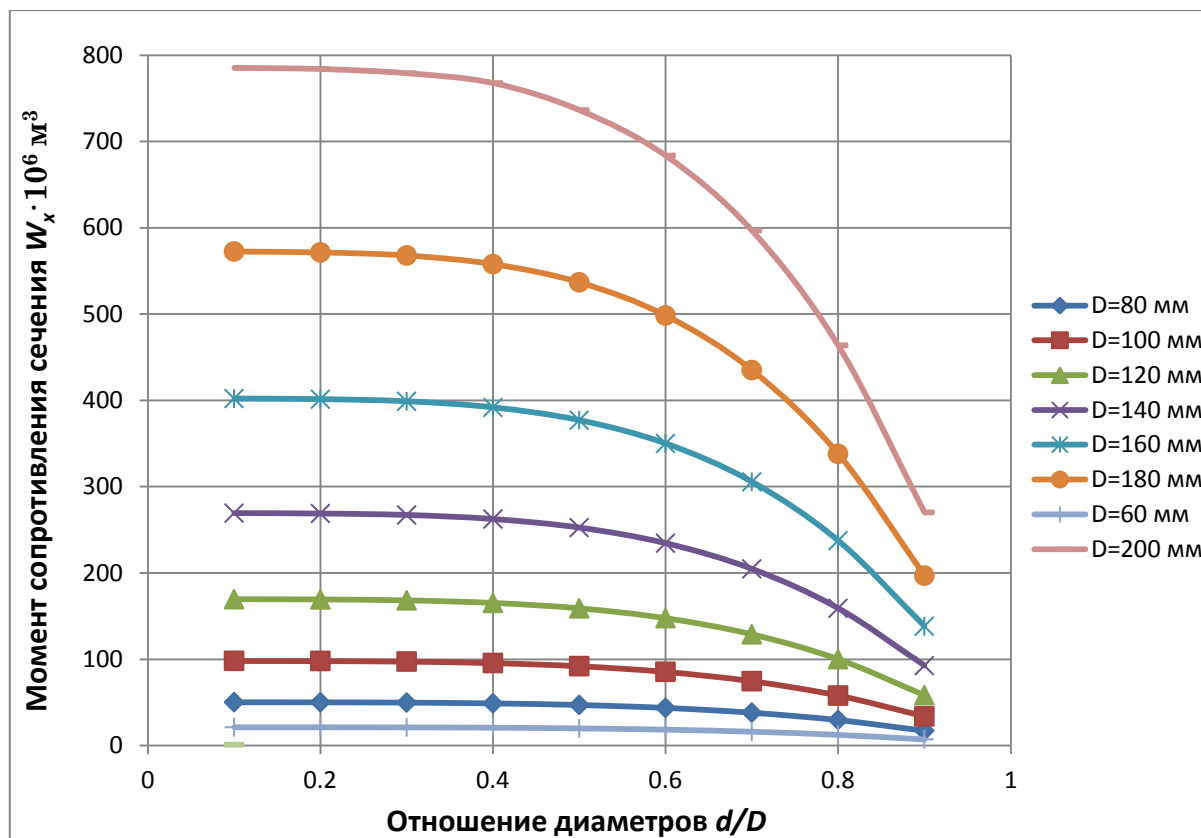


Рисунок. Зависимость момента сопротивления кускового торфа трубчатого сечения от отношения внутреннего и наружного диаметров

Очевидно, что должны быть отброшены ряды с $d/D = 0,9$ и $d/D = 0,1$, как невозможные в изготовлении из-за весьма низкой прочности куска (с $d/D = 0,9$) и из-за низкой прочности внутреннего стержня в мундштуке, служащего для пустотообразования (для $d/D = 0,1$). В рядах с $d/D = 0,2 \dots 0,8$ четко прослеживается увеличение интенсивности падения момента сопротивления сечения при $d/D > 0,4$. Поэтому, по соображениям прочности на изгиб, при проектировании механизмов машин, формирующих трубчатые куски, следует ограничиться зоной $0,2 \leq d/D \leq 0,4$.

В [7] методом множителей Лагранжа установлено, что лучшим с технологической точки зрения является круглое сечение торфяного куска, а из условия минимума боковой поверхности при заданном объеме куска получено, что длина куска должна быть равна диаметру. При этом для полного брикета из штемпельного пресса Б-8232 рекомендована высота 60...70 мм. В [8] показано, что для равномерности протекания процессов сушки в полевых условиях, когда испарение происходит из всего объема куска, диаметр куска должен быть 30...40 мм. В обоих случаях диаметр куска можно трактовать, как толщину стенки, поэтому с позиции технологичности и равномерного испарения влаги, толщина стенки куска трубчатого сечения должна быть 40...60 мм.

Принимая во внимание, что толщина стенки куска b :

$$b = \frac{D-d}{2}, \quad (3)$$

а $0,2 \leq d/D \leq 0,4$, как это было выяснено ранее, можно составить таблицу рекомендуемых размеров куска, исходя из требований прочности на изгиб, технологичности и равномерности сушки (таблица 2).

Таблица 2

Рекомендуемые размеры куска формованного торфа

b , мм	d/D	D , мм	d , мм
40	0,2	100	20
	0,3	114,3	34,3
	0,4	133,3	40
50	0,2	125	25
	0,3	142,9	42,9
	0,4	166,7	66,7
60	0,2	150	30
	0,3	171,4	51,4
	0,4	200	80

Теоретически полученные рациональные соотношения диаметров и их точные значения требуют дальнейшей экспериментальной проверки качества формования, которую предстоит выполнить в лабораторных условиях.

Список литературы

1. Справочник по торфу / А.В. Лазарев, С.С. Корчунов [и др.]. М.: Недра, 1982. 760 с.
2. Яблонев А.Л. Формы сечений кускового торфа и его прочность на изгиб // Вестник ТвГТУ. Серия «Технические науки». 2024. № 4 (24). С. 29–36.
3. Гусева А.М., Яблонев А.Л. Обоснование рациональных параметров и режимов производства кускового торфа по показателям качества // В сб. «Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности». Мат-лы XIX Междун. научно-техн. конф. «Чтения памяти В.Р. Кубачека». Под общ. ред. Ю.А. Лагуновой. Екатеринбург, 20-21 мая 2021 г. Екатеринбург: УГГУ, 2021.
4. Яблонев А.Л., Гусева А.М. Механическое оборудование для испытания на прочность кускового торфа // В сб. «Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности». Мат-лы XVIII Междун. научно-техн. конф. «Чтения памяти В.Р. Кубачека», в год памяти и славы горняков, к 75-летию Победы в Великой Отечественной войне. Под общ. ред. Ю.А. Лагуновой. Екатеринбург, 2-3 апреля 2020 г. Екатеринбург: УГГУ, 2020. С. 84–87.
5. Яблонев А.Л., Гусева А.М. Определение прочности на изгиб формованной торфяной продукции // Вестник ТвГТУ. Серия «Технические науки». 2019. № 3 (3). С. 47–55.
6. Таблица. Изгиб. Осевые моменты инерции сечений (статические моменты сечений), осевые сопротивления и радиусы инерции плоских фигур. Режим доступа URL: <https://dpva.xyz/Guide/GuideMaterials/MaterialsResistant/MomentsOfInertia/> (дата обращения 14.08.2024)
7. Богатов Б.А. Управление процессом разработки торфяных месторождений. Монография. Мн.: Вышэйшая школа, 1985. 168 с.
8. Афанасьев А.Е., Чураев Н.В. Оптимизация процессов сушки и структурообразования в технологии торфяного производства. Монография. М.: Недра, 1992. 288 с.

МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

***Чтоб из масс, «N-содержащих»,
Зёрна ценные извлечь,
В цепь событий предстоящих
Труд машин сих должен лечь!
Чтоб от шума и вибраций
Человеку не страдать,
Больше этих операций
Надо роботам отдать.***

Доц. Павел Жиганов

УДК. 621.86.:531.8

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДРОБЛЕНИЯ ГОРНОЙ ПОРОДЫ СВОБОДНЫМ УДАРОМ

Афанасьев А. И., проф., Потапов В.Я., проф., Zubov V.V., доц.,

Чиркова А.А., доц., Потапов В.В., доц.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», Екатеринбург, Россия

В горной промышленности РФ при проведении дробления и измельчения горных пород расходуется большое количество энергии. Процессы дробления свободным ударом осуществляются различными типами дробилок, в том числе центробежными дробилками – типа ДЦ. Одним из недостатков центробежных дробилок является относительно небольшая степень дробления. При скорости удара 70 м/с степень дробления свободным ударом кусков горных пород, имеющих крепость по Протодьяконову $f = 8 \dots 12$ – меньше пяти. Увеличение степени дробления в центробежных ударных дробилках, осуществляется повышением скорости удара, что одновременно влечет за собой увеличение расхода энергии. Дробление материала в центробежных дробилках идет как правило за несколько ударов. Многостадийное разрушение существенно усложняет как конструкцию машины, так и её эксплуатацию. В связи с этим, повышение эффективности работы центробежной дробилки является актуальной задачей.

Ключевые слова: горная промышленность, дробление материалов, истирание, раздавливание, износостойкость рабочего органа, тип дробилок, энергоемкость процесса, стадия дробления.

SIMULATION MODEL OF ROCK CRUSHING BY FREE IMPACT

Afanasyev A.I., Potapov V.Ya., Zubov V.V., Chirkova A. A., Potapov V.V.

In the mining industry of the Russian Federation, a large amount of energy is consumed during crushing and crushing of rocks. Free-impact crushing processes are carried out by various types of crushers, including centrifugal crushers of the DC type. One of the disadvantages of centrifugal crushers is the relatively small degree of crushing. At an impact velocity of 70 m/s, the degree of crushing by free impact of rock pieces having a Protodyakonov strength of $f = 8 \dots 12$ is less than five. An increase in the degree of crushing in centrifugal impact crushers is carried out by increasing the impact velocity, which simultaneously entails an increase in energy consumption. Crushing of the material in centrifugal crushers usually takes several strokes. Multi-stage destruction significantly complicates both the design of the machine and its operation. In this regard, improving the efficiency of the centrifugal crusher is an urgent task.

Keywords: mining, grinding of materials, abrasion, crushing, wear resistance of the working body, type of mills, energy intensity of the process, stage of fragmentation.

Введение. Дробление является начальной операцией при переработке руд. Оно сопровождается с относительно большими энергетическими затратами. Это оказывает существенные ограничения при выборе способа разрушения. В связи с вовлечением в переработку бедных руд, объем перерабатываемой горной массы и, соответственно, общие энергетические затраты существенно возрастают.

Разработана зависимость степени дробления от размеров куска (d), удельной энергии ($E_y = E/m$), учитывающая случайность коэффициента трения (определяющего скорость удара), плотность горной породы, размеров куска. Разработана методика выбора конструктивных и режимных параметров центробежной дробилки.

Объект исследования. Рабочий процесс дробления кусков горной породы в центробежной роторной дробилке.

Цель исследования. Определить факторы, влияющие на закономер-

ности разрушения свободным ударом частиц в центробежной дробилке и разработать имитационную модель.

Изучение процесса удара и закономерностей разрушения хрупких материалов посвящены работы [1, 2]. В этих работах показано, что при постоянной скорости удара разрушение частицы тем больше, чем больше ее эквивалентный диаметр. В частности, частицы из карбида бора (керамика) диаметром 0,1 мм при скоростях удара 300 м/с вообще не разрушаются даже при прямом ударе, т.е. при угле встречи ноль градусов ($\theta = 0^\circ$). Частицы диаметром 1 мм начинают разрушаться при скорости удара 150 м/с. Частицы диаметром 10 мм при скорости 300 м/с имеют большую в 1,2 раза потерю массы после первого удара, чем частицы диаметром 1 мм. При ударе со скоростью 150 м/с по нормали к поверхности ($\theta = 0^\circ$), частице диаметром 10 мм потребовалось 13 соударений до полного разрушения, а для частицы диаметром 1 мм при соударении со скоростью 300 м/с необходимо 7 соударений. Следует отметить, что обеспечить такие скорости удара в роторных дезинтеграторах очень затруднительно. Так при радиусе ротора 0,5 м и окружной скорости 300 м/с, он должен иметь частоту вращения около 6000 об/мин. При такой скорости вращения возникает проблема балансировки ротора и долговечности подшипников. Кроме того, как показали исследования получить дробленый продукт за одно дробление крупностью меньше 0,1 мм, который используется при дальнейшем обогащении практически невозможно.

Для подтверждения этого вывода нами были проанализированы результаты дробления высокопрочной керамики - карбида Бора (B_4C) [1].

Таблица 1 составлена на основании данных работы [1]. Куски карбида Бора, выполненные в виде сферы разгонялись до скорости $V_0 = 300$ м/с и ударялись о неподвижную стенку под различным углом $\varphi = 0 \dots 75$ град. Нормальная составляющая скорости удара куска о стенку находилась из формулы: $V = V_0 \cdot \cos \varphi$.

Таблица 1 - Результаты дробления трудно разрушаемой керамики B_4C

№	$d_{исх}$, мм	Скорость удара, м/с	$m_{др}/m_{исх}^*$	Степень дробления, i	E/m , Дж/кг
1	10	300 *	0,83	1,2	45000
2		250	0,87	1,15	33800
3		186	0,88	1,10	17300
4		150 *	0,93	1,07	11250
5		93	0,98	1,02	4100
6	1	300 *	0,93	1,07	45000
7		250	0,925	1,06	33800
8		186	0,96	1,04	17300
9		150 *	0,98	1,02	11250
10		93	0,99	1,01	4100

На рис. 1 приведены графики зависимости степени дробления карбида Бора от удельной энергии: ряд 1 – диаметр шара 10 мм; ряд 2 – диаметр шара 1 мм.

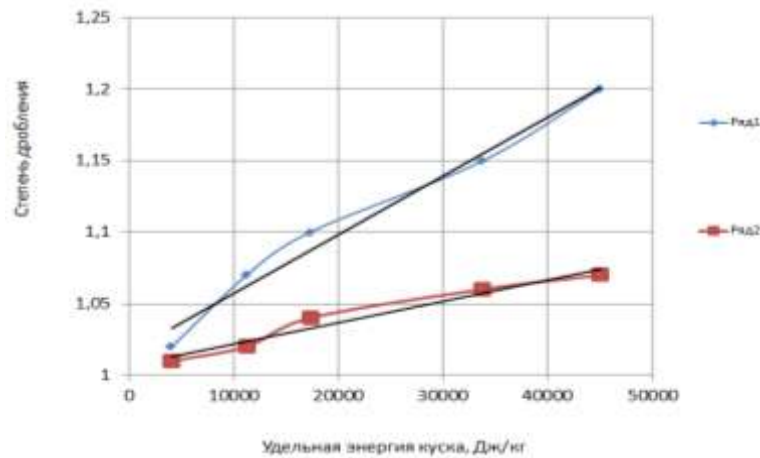


Рис. 1. Графики зависимости степени дробления карбида Бора от удельной энергии

Статистическая зависимость [2-5] степени дробления частицы шаровидной формы карбида Бора от удельной энергии ($E_v = E/m$) перед ударом имеет вид:

$$\text{Ряд 1:} \quad i = 4 \cdot 10^{-6} E_v + 1,01 \quad R^2 = 0,98 \quad (1)$$

$$\text{Ряд 2} \quad i = 10^{-6} E_v + 1,01 \quad R^2 = 0,96 \quad (2)$$

Удельная энергия разрушения сферического образца нитрида Бора диаметром 1 мм при степени дробления 1,05 примерно равна 25000 Дж/кг. Удельная энергия разрушения образца диаметром 10 мм (ряд 1) при такой же степени дробления будет равна 7000 Дж/кг. Таким образом, при уменьшении средних размеров куска в 10 раз, удельная энергия его разрушения до одинаковой степени дробления возрастает в 3,6 раза.

Используя данные табл. 1 составим матрицу ПФЭ (см. табл 2), содержащую эквивалентный диаметр кусков (d), удельную энергию кусков (E_v) и степень дробления (i). Для упрощения обработки экспериментальных данных выбираем масштабы по осям независимых переменных (эквивалентный диаметр куска $d = X_1$; удельная энергия куска $E_v = X_2$) таким образом, чтобы верхний уровень соответствовал +1, нижний - (-1). Кодированное значение факторов равно

$$x = \frac{x_n - x_{n.0}}{\Delta x_n} \quad (3)$$

где x – кодированное значение факторов; x_n – натуральное значение фактора; $x_{n.0}$ – основной уровень (натуральный); Δx_n – интервал варьирования.

Согласно табл. 1 для карбида бора получим:

$d = X_1$; $X_1 = +1$ $d = 10$ мм; $X_1 = -1$ $d = 1$ мм; $\Delta x_1 = 4,5$ мм; $X_{1.0} = 5,5$ мм.

$E_v = X_2$; $X_2 = +1$ $E_v = 45000$ Дж/кг; $X_2 = -1$ $E_v = 4000$ Дж/кг; $\Delta x_2 = 20500$ Дж/кг; $X_{2.0} = 24500$ Дж/кг.

В таблице 2 приведена матрица и результаты экспериментов по дроблению карбида бора.

Таблица 2 - Матрица и результаты экспериментов

№	X ₁	X ₂	i	i X ₁	i X ₂	i X ₁ X ₂	i _p
1	-1	-1	1,01	-1,01	-1,01	1,01	1,01
2	+1	-1	1,02	1,02	-1,02	-1,02	1,02
3	-1	+1	1,07	-1,07	1,07	-1,07	1,07
4	+1	+1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Σ	0	0	4,3	0,14	0,24	0,12	4,3

i_p - расчетные по модели значения степени дробления.

В результате статистической обработки экспериментальных данных, приведенных в таблице 2 получена следующая математическая модель:

$$i = 1,075 + 0,77 \cdot 10^{-2} (d - 5,5) + 2,93 \cdot 10^{-6} (E_y - 24500) + 3,28 \cdot 10^{-7} (d - 5,5) (E_y - 24500) \quad (4)$$

Расчет степени дробления (i_p) по уравнению 4 показывает, что расхождение между экспериментальными и расчетными по моделям не превышает 1%, т.е. незначительны.

Для проверки адекватности методики расчета реальному процессу были произведены несколько дроблений горных пород. Дробление осуществлялось на центробежной дробилке с вертикально расположенной осью вращения ротора. Окружная скорость схода кусков горной породы регулировалась путем изменения частоты вращения якоря двигателя постоянного тока.

На рис.2 приведены фрагмент результатов расчета процесса дробления гранита (второй класс дробимости) крупностью +20-40мм.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	1	Расчет процесса дробления гранита II кл.) свободным ударом							
2		Сходные данные и результаты расчета							
3	1. Число кусков горной породы							N	100000
4	2. Минимальный диаметр куска, мм							D _{min}	20
5	3. Максимальный диаметр куска, мм							D _{max}	40
6	4. Максимальный радиус лопатки ротора, мм							r12	250
7	5. Минимальный радиус ротора, мм							r11	100
8	6. Параметр распределения Вейбула							a	1,76
9	7. Параметр распределения Вейбула							b	3,2
10	8. Максимальная плотность горной массы, кг/м ³							ρ _{max}	2000
11	9. Минимальная плотность горной массы, кг/м ³							ρ _{min}	1900
12	10. Угловая скорость вращения ротора, рад/с							W	120
13	11. Максимальный коэффициент трения							f1	0,48
14	12. Минимальный коэффициент трения							f2	0,27
15	1. Окружная скорость, м/с							V0	30,00
16	2. Средняя скорость удара куска, м/с							Vc	35,2
17	3. Средняя радиальная скорость куска, м/с							Vr	18,3
18	4. Средняя степень дробления							i _{cp}	1,4
19	5. КПД процесса разгона, %							KPD	78,7
20	6. Средний диаметр дробленого продукта, мм							d _{cp}	20,02
21	7. Угол удара куска о броню, град.							α	59,04
22	8. Средние удельные потери энергии на трение, Дж/кг							E _{yt}	167,81
23	9. Средняя удельная кинетическая энергия куска, Дж/кг							E _y	619,22

Рис.2. Фрагмент результатов расчета процесса дробления гранита

Фактическое значение степени дробления, полученное в результате эксперимента $i_{\phi} = 1,37$. Относительное расхождение результатов расчета и эксперимента равно: $\varepsilon_i \approx 2 \%$.

Таким образом можно сделать следующие выводы:

1. При разрушении горных пород происходит упругий и одновременно неупругий удары, поэтому используя классическую теорию удара аналитически определить энергию, расходуемую на разрушение куска, практически невозможно.

Главным недостатком этих теорий является то, что при дроблении каждая частица разрушается не на одинаковые, а различные по размерам и форме частицы, причем их количество в каждой стадии не постоянно.

2. Степень дробления горных пород всех классов дробимости (труднодробимых, среднедробимых и легкодробимых) при постоянной скорости удара зависит от диаметра кусков и линейно увеличивается при возрастании их размера.

3. Анализ результатов процесса свободного удара показывает, что степень дробления горных пород всех классов дробимости зависит от квадрата скорости, т.е. удельной энергии кусков и линейно увеличивается при её возрастании. Это обосновывает необходимость осуществлять рабочий процесс за одну стадию с максимальной степенью измельчения.

Это обосновывает необходимость осуществлять рабочий процесс за одну стадию с максимальной степенью измельчения.

Список литературы

1. Н.Н. Белов, Н.Т. Югов, Д.Г. КОПАНИЦА, Ю.А. БИРЮКОВ, А.А. ЮГОВ, А.Н. ОВЕЧКИНА. Разрушение сферических частиц из хрупких материалов при многократном ударе по жесткой стенке. Томск, Вестник ТГАСУ №2, 2006, с. 21-30.
2. Процессы ударного взаимодействия частиц керамических материалов при измельчении в пневмоциркуляционном аппарате / Н.Н.Белов, Ю.А. Бирюков, А.Т. Росляк [и др.] // Теоретические основы химической технологии, 2005. – Т. 39. – № 3. – С. 327–333.
3. Основы научных исследований: учебник / Афанасьев А.И., Потапов В.Я., Фролов С.Г., Упоров С.А., Потапов В.В., Чиркова А.А.— Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2024. — 204 с.
4. Зельдович Я. Б., Мышкис А. Д. Элементы прикладной математики. – М.: Наука, 1967. – 646 с.
5. Хартман К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / К. Хартман, Э. Лецкий. - М.: Мир, 1977. - 552 с.

УДК 621.926

АНАЛИЗ ОБЪЕКТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ, НАПРАВЛЕННЫХ НА ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РОТОРНЫХ ДРОБИЛОК

Никитин А.Г., профессор, **Бережанский В.Н.**, аспирант
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк

Рассмотрены объекты интеллектуальной собственности, направленных на повышение производительности и энергоэффективности роторных дробилок. Показаны направления совершенствования роторных дробилок непрерывного действия.

Ключевые слова: дробление, роторные дробилки, горные породы, дезинтеграция, патент.

ANALYSIS OF INTELLECTUAL PROPERTY OBJECTS AIMED AT IMPROVING THE PRODUCTIVITY OF ROTOR CRUSHERS

Nikitin A.G., Berezhansky V.N.

The intellectual property objects aimed at improving the productivity and energy efficiency of cone crushers are considered. The directions of improvement of continuous rotor crushers are shown.

Keywords: crushing, rotor crushers, rocks, disintegration, patent.

Необходимость совершенствования конструкций роторных дробилок, а именно в направлении повышения их производительности, с каждым годом растет ввиду увеличения объемов добычи полезных ископаемых. Как следствие, возникает требование эффективного потребления энергии на дезинтеграцию. Актуальность данного анализа характеризуется высокой степенью энергопотребления, так как более 5% всей электроэнергии в мире затрачивается на дробление горных пород. В качестве базы для такого анализа выбрана патентная информация.

В описании изобретения к патенту RU 2 526 738 C1 от 27.08.2014 г. «Роторное дробильное устройство» в описании указано, что устройство содержит корпус выполненного совместно с неподвижным конусом, внутренний конус, в верхней части корпуса расположена точка для подачи материала, привод, радиальные подшипники, упорные подшипники, ребра расположенные на рабочих поверхностях конусов, разгрузочные окна в нижней части корпуса.

Целью изобретения является уменьшение расхода энергии на единицу готовой продукции и повысить производительность дробилки.

Согласно изобретению поставленная цель достигается тем, что кусок дробимого материала через точку подается в зону дробления, образованную рабочими поверхностями конусами. При вращении внутреннего конуса ребра, расположенные на рабочих поверхностях конусов, периодически располагаются напротив друг друга и образуют каналы, в которые под действием сил гравитации кусок проваливается на глубину, на которой его поперечный размер равен величине зазора между поверхностями неподвижного и вращающегося внутреннего конусов. При дальнейшем вращении внутреннего конуса кусок зажимается между боковыми поверхностями

ми ребер и за счет возникновения в нем касательных напряжений развивается деформация сдвига и кусок разрушается.

В описании изобретения к патенту RU 2 744 272 C1 от 04.03.2021 г. «Конусная дробилка» указано, что дробилка содержит станину, дробильную рабочую внутреннюю поверхность которой состоит из нескольких кольцевых поясов, футерованных бронями и образует камеру с наружной поверхностью дробящего конуса, второго и третьего кольцевого пояса где равномерно между бронями установлены брони с разницей боковых сторон, тем самым образуя в ровном кольце броней выступающие во внутреннюю поверхность камеры дробления выступы с примыкающими бронями создавая зоны сжатия и разрушения.

Целью изобретения является повышение производительности дробилки, за счет создания в камере дробления зон сжатия и разрушения.

Согласно изобретению поставленная цель достигается тем, что на внутренней поверхности дробильной чаши в кольцевых поясах равномерно по окружности установлены брони, выполненные с разницей толщины противоположных боковых сторон и образующие при установке в кольцевой пояс выступы с примыкающими бронями, при этом отношение толщины противоположных боковых сторон броней увеличивается от нижних кольцевых поясов к верхним.

В описании изобретения к патенту RU 2 396 118 C1 от 10.08.2010 г. «Конусная дробилка» указано, что дробилка содержит станину, неподвижный дробящий конус, приводной вал, опорную чашу, нижнюю часть приводного вала, находящуюся в эксцентриковом стакане, коническую приводную шестерню, подвижный дробящий конус и выступы на нем, предотвращающие разгрузку крупных частиц.

Целью настоящего изобретения является разработка конструкции включающую разгрузку крупных частиц избыточной крупности тем самым повышая коэффициент заполнения рабочего пространства дробилки.

Поставленная цель достигается тем, что кольцообразный выступ препятствует выгрузке крупных частиц из рабочего пространства. Эти частицы за счет воздействия продольных выступов на подвижном конусе перемещаются в зону, где подвергаются дробящему воздействию.

В описании изобретения к патенту RU 2 825 858 C1 от 24.10.2023 г. «Измельчитель конусный ударно-истирающего типа» содержащий корпус с верхней и нижней крышкой, загрузочный механизм, приводной электродвигатель с элементами крепления и регулировки, ротор с рабочими органами, отличающийся тем, что на сепарирующей поверхности по всему периметру с равномерным шагом выполнены щелевые отверстия под углом 45 градусов относительно нормали, которые одновременно выполняют функции и сепарирующей поверхности, а профиль ротора, также как и профиль сепарирующей поверхности, выполнен в виде усеченного конуса относительно оси вращения с углом α , имеющим значение от 10 до 30 градусов.

Целью изобретения является своевременный отвод готовый продукт из зоны измельчения. Согласно изобретению поставленная цель достигается наличием сепарирующей поверхности в виде щелевых отверстий по периферии ротора позволяющей своевременно отводить измельченный материал из зоны дробления.

В описании изобретения к патенту RU 2 595 145 C1 от 20.08.2016 г. «Конусная роторная дробилка» в описании указано, что дробилка содержит корпус, дебалансные вибраторы и коническое кольцо, внутри которого помещен дробящий конус с гидроопорой, образующий с коническим кольцом дробящую камеру, опорные направляющие корпуса установлены в расточках стоек станины на опорных подшипниках через демпфер.

Целью настоящего изобретения повышение эффективности процесса дробления и надежности работы дробилки стабилизацией параллельности положения осей конусов при обкатывании внешнего конуса по дробящему внутреннему конусу, вращением внутреннего конуса в направлении, обратном обкатыванию внешнего конуса, и принудительной циркуляцией дробимого материала в камере дробления по направлению вращения внутреннего конуса, что приводит к выводу пыли и мелких классов породы из зоны дробления в зону измельчения и в зону разгрузки.

Поставленная цель достигается тем, что корпус содержит опорные направляющие, установленные в расточках стоек станины на опорных подшипниках через демпфирующие проставки, с возможностью его перемещения только в горизонтальной плоскости на величину деформации дробимого материала.

В описании изобретения к патенту RU 2 538 389 C1 от 10.01.2015 г. «Дезинтегратор» в описании указано, что дезинтегратор содержит корпуса с верхним загрузочным отверстием, над которым установлен бункер. В корпусе вертикально установлены верхний рабочий орган и нижний рабочий орган, расположенный внутри верхнего рабочего органа. Вал рабочего органа установлен в опорах. Вал рабочего органа расположен в опорах, при этом вал нижнего рабочего органа расположен внутри вала верхнего рабочего органа. Рабочий орган выполнен в виде конического углубления, на внутренней поверхности которого выполнены V – образной формы ребра из износостойкого материала. Нижний рабочий орган выполнен в виде усеченного конуса с ребрами V – образной формы, установленными вдоль образующих конуса. Зазор между верхним и нижним рабочими органами образует рабочую камеру. Нижний рабочий орган и верхний рабочий орган вращаются в противоположных направлениях от отдельных электродвигателей. В нижней части корпуса под рабочими органами наклонно к горизонту под углом 5° – 20° установлен сито–разделитель, при этом угол его наклона должен превышать угол трения материала по плоскости сито–разделителя на 2° – 10° . Верхний рабочий орган в нижней части снабжен спицами для прохода измельченного материала. Измельченный материал проходит через спицы в сито–разделитель.

Целью настоящего изобретения является устранение больших сил реакций опор и неустойчивость с точки зрения динамики процесса, возникающих вибраций при больших оборотах рабочих органов, невозможности дробления твердых пород, невозможности сортировки измельченных частиц из рабочей камеры и разделения их на фракции, невозможности контроля размеров полученных фракций.

Поставленная цель достигается тем, что дезинтегратор снабжен ситом-разделителем, установленным наклонно в нижней части корпуса под углом $5^{\circ} - 20^{\circ}$ к горизонту, и желобами для отвода измельчаемого материала через разгрузочные отверстия. Сито-разделитель установлен под углом, превышающим угол трения материала по плоскости сито-разделителя на $2^{\circ} - 10^{\circ}$. Сито-разделитель для увеличения интенсивности просеивания снабжен кулачковым встряхивателем.

Существенным недостатком всех рассмотренных выше конструкций является их неработоспособность, ввиду отсутствия вращения наружного конуса, из-за чего ограничивается проходимость дробленого материала и происходит переизмельчение.

Анализ показал, что защищенные патентами технические решения для повышения эффективности роторных, конусных дробилок и дезинтеграторов, при разрушении хрупких материалов в основном направлены на решение следующих задач: повышение производительности дробилки за счет перевода ее в режим непрерывного действия; снижение износа дробящих плит путем изменением их геометрии; увеличение степени дробления; снижение вибрационных нагрузок на станину; предотвращение выгрузки крупных частиц; снижение количества переизмельченного материала и выбора размера его фракций.

УДК 621.926.22

К ПРОБЛЕМЕ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКТА ДРОБЛЕНИЯ ПОСРЕДСТВОМ ИСПОЛНЕНИЯ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ЩЕК КРИВОЛИНЕЙНЫМ

Бойко В.С., студент, Копосов П.В., аспирант

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург

На протяжении многих лет учеными разрабатывались конструктивные исполнения щековых дробилок, щеки которых выполнены с криволинейным продольным профилем, поскольку такая форма дробящих плит позволяет получать более однородный по гранулометрическому составу продукт. Однако существующие конструкции таких машин имеют некоторые недостатки, оказывающие влияние на качество продукта и механизм дробления в целом. Для решения этих проблем авторами предлагается новое техническое решение щековой дробилки.

Ключевые слова: дробление, гранулометрический состав, щековая дробилка, продольный профиль щеки, криволинейная форма щеки, трактриса.

TO THE PROBLEM OF IMPROVING THE QUALITY OF THE CRUSHING PRODUCT BY MAKING THE LONGITUDINAL PROFILE OF THE CHEEKS CURVED

Boiko V.S., Koposov P.V.

Over the years, scientists have been developing design designs for jaw crushers, the cheeks of which are made with a curved longitudinal profile, since this shape of the crushing plates makes it possible to obtain a more homogeneous product in terms of granulometric composition. However, the existing designs of such machines have some disadvantages that affect the quality of the product and the crushing mechanism as a whole. To solve these problems, the authors propose a new technical solution for a jaw crusher.

Keywords: crushing, granulometric composition, jaw crusher, longitudinal cheek profile, curved cheek shape, traktris.

Дробление представляет собой неотъемлемую часть технологического процесса по добыче полезных ископаемых. Оно подразумевает уменьшение размеров кусков материала до требуемого размера под воздействием внешних сил с целью упрощения дальнейшей переработки ископаемых. Конечный продукт дробления характеризуется гранулометрическим составом, по анализу которого можно оценить однородность полученной фракции.

На сегодняшний день для разрушения горных пород применяют различные по конструкции дробильные машины. Так, на стадиях крупного и среднего дробления используют щековые дробильные машины [1, 2], в которых поступающий материал разрушается, в основном, за счет раздавливания между рабочими органами – дробящими плитами. Однако в таких машинах готовый продукт может получаться неоднородным по гранулометрическому составу в силу циклического сближения и отдаления плит в процессе работы, что приводит к изменению ширины разгрузочного отверстия. С целью повышения качества продукта дробления учеными разрабатывались различные конструкции щековых дробилок, в которых одним из

определяющих факторов, влияющих на состав и форму готовой фракции, является продольный профиль дробящих плит.

Несмотря на то, что в конструкциях таких машин наиболее распространена прямолинейная форма щек, криволинейная, в свою очередь, имеет ряд преимуществ. Так, например, исторически выпукло-вогнутый профиль использовался в машинах-грануляторах, поскольку обеспечивал получение более узкого класса крупности и однородной формы гранул готового продукта.

Авторами был проведен анализ существующих конструкций дробильных машин, щеки которых выполнены нелинейной формы (рис.1), с целью определения влияния, которое оказывает их конструкция на механизм дробления и качество продукта.

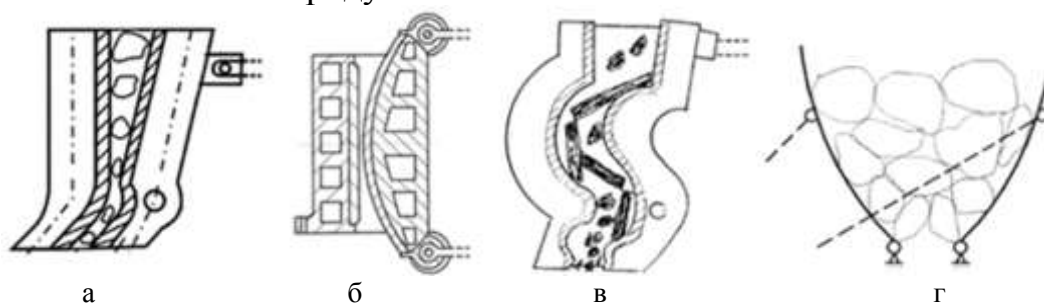


Рис. 1. Криволинейные продольные профили дробящих плит щековых дробилок
[составлено авторами]

Известна щековая дробилка двойного действия (Патент РФ № 2347616, опубл. 27.02.2009), обе щеки которой имеют изгиб у точки подвеса (рис.1, а), за счет которого в процессе их движения создаются верхняя и нижняя камеры дробления. Такая конструкция позволяет попеременно обеспечивать две стадии дробления – крупное и мелкое и тем самым повышать степень дробления материала. Однако за счет прямолинейного профиля обеих щек действующие на породу разрушающие усилия оказываются параллельны между собой и не фокусируются на материале, что приводит к потерям производительности машины.

Ещё один вариант конструкции дробилки (Патент РФ № 2601815, опубл. 10.11.2016) имеет станину с неподвижной щекой и подвижную щеку с выпуклой рабочей поверхностью (рис.1, б). В движение дробильная машина приводится за счет кулисно-коромыслового приводного механизма, кинематика движения которого обеспечивает качение щеки без проскальзывания, что снижает возможность переизмельчения материала. Недостатком такой машины является то, что рабочая поверхность подвижной щеки за счет выпуклой формы приводит к выталкиванию дробимого материала из камеры, поскольку силы от выпуклой поверхности есть силы расходящиеся.

Разработанная для дробления плитняка щековая дробилка (Патент РФ № 2455071, опубл. 10.07.2012) имеет в своем составе дробящие плиты с переменными выпукло-вогнутыми полусферическими углублениями (рис.1, в). Такая конструкция плит позволяет дробить материал лещадной

формы за счет изгибающих усилий, обеспечивая при этом эффективную переработку с пониженной энергоемкостью. Однако в такой машине из-за наличия выпуклых поверхностей, щеки создают эффект выталкивания материала из камеры дробления.

Следующая конструкция дробильной машины (Патент РФ № 2752910, опубл. 11.08.2021) отличается от вышеприведенных тем, что имеет две подвижные щеки с вогнутыми по эвольвенте круга поверхностями (рис.1, г). Подвижность обеих щек обеспечивает повышение воздействия разрушающего усилия на материал, что, в свою очередь, увеличивает эффективность и производительность процесса дробления. К тому же такая конструкция позволяет обеспечить непараллельность направления сил, разрушающих материал. Недостатком же машины является то, что щеки движутся с разными скоростями и ускорениями, поскольку приводятся в движение посредством подвижных тяг, соединенных шарнирно с качающимся коромыслом. Это, в свою очередь, приводит к разным по величине силам воздействия на дробимый материал, что не позволяет получать максимально возможный объем фракции требуемой крупности.

По результатам анализа патентов авторами был разработан новый вариант конструктивного исполнения механизма щековой дробильной машины (рис. 2) [3]. Механизм включает в себя кривошип 1, шатун 2, четырехзвенный ползун 3, подвижные тяги 4, щеки 5, профиль которых выполнен по трактрисе, а также неподвижную стойку 6 с закрепленной в ней решеткой с выпукло-вогнутыми колосниками 7.

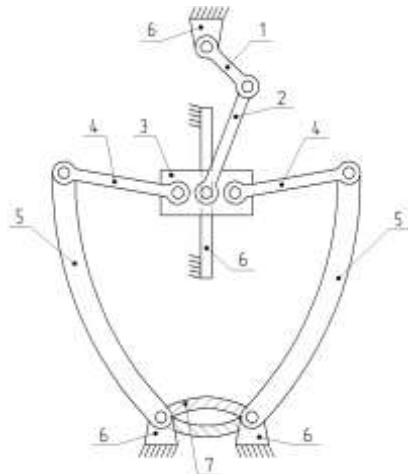


Рис. 2. Механизм щековой дробилки с двумя синхронно подвижными щеками, имеющими криволинейный продольный профиль в виде трактрисы [составлено авторами]

Отличительной особенностью такой конструкции является то, что щеки дробилки выполнены по профилю плоской кривой – трактрисы. Величина нагрузки, вектор которой направлен по касательной к данной кривой в любой ее точке, всегда является постоянной величиной, что является следствием свойства трактрисы, по которому длина касательной к трактрисе постоянна. Это постоянство, в свою очередь, обеспечивает равномерное изнашивание дробильных плит подвижных щек в процессе работы машины. Вместе с тем, увеличивается разрушающее воздействие вследст-

вие того, что щеки, будучи выполненными вогнутыми с криволинейными профилями, воздействуют на куски породы непараллельными сходящимися силами одинаковой величины, действующими симметрично со стороны каждой из щек.

Выпукло-вогнутая решетка в разгрузочной щели дробилки необходима для дополнительного разрушающего воздействия на дробимый материал в случае, если в камере находятся крупные куски породы, не соответствующие требуемому классу крупности, что позволяет получать максимально возможный объем готовой продукции требуемой фракции и исключает необходимость использования после дробления вспомогательного оборудования для классификации.

Таким образом, конструктивное исполнение продольного профиля щек дробильных машин криволинейным позволяет получать продукцию с наиболее однородным гранулометрическим составом в сравнении с традиционно применяемыми дробилками с прямолинейными щеками.

Список литературы

1. Калиниченко М.В. Щековые дробилки: назначение, классификация и расчет основных параметров // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. – 2024. – №1(48). – С. 5-11.
2. Першин Г.Д., Пшеничная Е.Г., Пыталев И.А., Курочкин А.И. Пути повышения эффективности дезинтеграции горных пород щековыми дробилками // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2024. – №1. – С. 313-326.
3. Копосов П.В., Жуков И.А., Бойко В.С. Обоснование технического решения щековой дробилки с двумя синхронно подвижными щеками с криволинейным продольным профилем // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2024. – №28. – С. 114-120. – DOI: 10.26160/2658-3305-2024-28-114-120.

УДК 622.331.002.5

ДИСТОРТНОСТЬ В ПРОЦЕССАХ ДРОБЛЕНИЯ И ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ТОРФЯНЫХ СТРУКТУР

Зюзин Б.Ф., д-р техн. наук, проф., Жигульская А.И., канд. техн. наук, доц.,
Рыльский С.А., аспирант

Тверской государственный технический университет, г. Тверь

Современные подходы в оценке процессов дробления и измельчения не дают существенного различия в их функциональных характеристиках. Предложена методика оценки процессов дробления и измельчения с позиций оценки уровня функциональной нелинейности – дистортности.

Ключевые слова: дробление, измельчение, уровень нелинейности, дистортность.

DISTORTION IN CRUSHING AND GRINDING PROCESSES

Zyuzin B.F., Zhigulskaya A.I., Rylskiy S.A.

Modern approaches to the evaluation of crushing and grinding processes do not provide significant differences in their functional characteristics. A method is proposed for evaluating the processes of crushing and grinding from the standpoint of assessing the level of functional nonlinearity – distortion.

Keywords: crushing, grinding, level of nonlinearity, distortion.

Степень дробления определяется как отношение размеров максимальных по крупности кусков материала до и после дробления

$$i = D_{max}/d_{max},$$

где D_{max} – максимальный диаметр куска материала до дробления; d_{max} – максимальный диаметр куска после дробления.

Техника использует стандартный метод испытания кускового торфа и брикетов на механическую прочность в барабане закрытого типа, вращающемся с частотой 25 ± 2 мин⁻¹ с последующим рассевом материала. После отсева отбирают куски размером более 25 мм и вычисляют их процентное содержание от массы загруженной пробы, характеризующее механическую прочность образцов на истирание.

Для изучения динамики разрушения материала дроблением целесообразно использовать ударный метод воздействия на испытуемый образец. Такой принцип исследования отвечает характеру процессов взаимодействия элементов рабочих органов и исполнительных механизмов торфяных машин при уборке кускового торфа, погрузке различных видов окучиванной продукции, её транспортировке и т.д. Метод можно использовать для изучения трещиноватости материала. При этом применяется способ одиночного удара, наносимого по образцу свободно падающим грузом.

В результате по заданной работе разрушения определяется вновь образованная поверхность по суммарному процентному выходу дробимых частиц заданного размера.

Удельная работа разрушения определяется по формуле

$$A_{уд} = A/(S - S_0),$$

где A – полная работа удара ($A = mgh$); S_0 – поверхность исходного материала; S – поверхность измельченного материала.

Трещиноватость характеризует коэффициент

$$K_T = \frac{\mathfrak{E}_H - \mathfrak{E}_T}{\mathfrak{E}_H} = 1 - \frac{\mathfrak{E}_T}{\mathfrak{E}_H},$$

где $\mathfrak{E}_H, \mathfrak{E}_T$ – энергоемкости разрушения торфа.

Методика и показатели отражают лишь общие количественные характеристики процесса ударного разрушения торфяных структур [1].

Представляется возможным ввести качественную оценку дробления и измельчения в рамках единого переходного функционального процесса, исходя из характера образования поверхностей (Π) и деформирования объёма (V). Кинематика суммарного выхода частиц разрушения заданного класса (рис. 1) показывает область качественного изменения функции, свидетельствующую, что по мере роста работы разрушения A_p в первой стадии преобладает деформирование объёма, и образуются крупные частицы. При этом уровень нелинейности данного функционального процесса $0 < Y_{a\text{др}} < 0,5$, что и устанавливает область дробления материала. На второй стадии разрушения при $A_p > A_{\text{др}}$ преобладает образование новых поверхностей в результате более интенсивного дробления, т.е. измельчения. Уровень нелинейности $0,5 < Y_{a\text{изм}} < 1$. Таким образом, рассмотрение кинетики процесса ударного разрушения по характеру изменения суммарного выхода частиц заданного класса позволяет классифицировать стадии разрушения структуры материала на дробление и измельчение.

Реальной характеристикой соотношения дробления и измельчения является положение точки A_0 (рис. 2) на кривой разрушения, в которой происходит изменение кривизны функциональной зависимости.

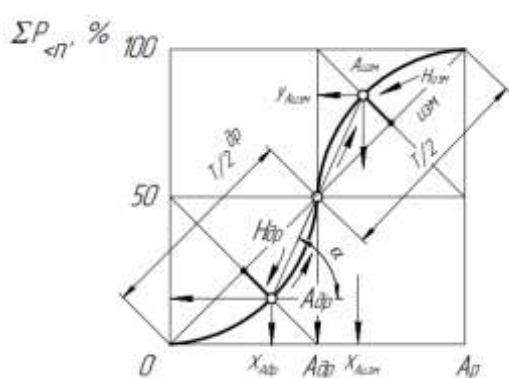


Рис. 1. Диаграмма суммарного выхода частиц дробления заданного класса

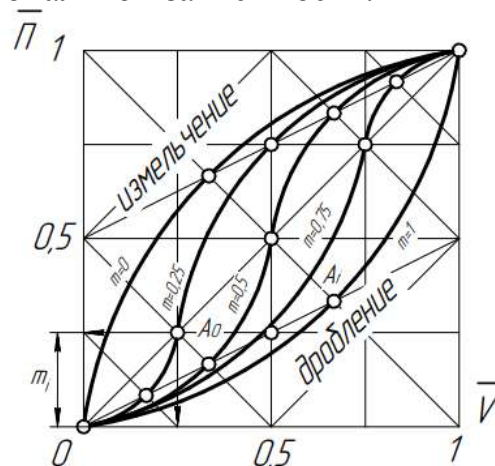


Рис. 2. Характеристики соотношения процессов дробления и измельчения

Она определяется безразмерным параметром m_i , который варьируется в диапазоне $0 < m_i < 1$. Поэтому можно говорить о двухстадийной механической переработке торфяной структуры, при которой в разрушаемом материале происходит накопление поверхностной энергии, интенсивность которой в конечном счете и определяет эффективность переработки струк-

турных систем. С практической точки зрения не столь важно, с какого момента, т.е. при какой исходной поверхностной энергии начинается внешнее воздействие на систему. Поэтому дроблению (измельчению) может подвергаться как целый образец, так и его часть (частица).

Торфяная структура может рассматриваться как композиционная система, в которой в результате механической переработки происходит изменение мерности состава, например, фракционного. По мере увеличения интенсивности воздействия процесс измельчения переходит в диспергирование и с физической точки зрения является механоактивацией структуры. Поэтому к измельчению можно отнести такие явления, как истирание, перемешивание, мятие, истечение, формование и др.

Процесс разрушения по своему проявлению неоднороден. В одной и той же структуре происходит одновременно как дробление, так и измельчение. Однозначность оценки может быть дана только относительно определённого класса размера дробимого материала. При этом дробимость является обобщённым параметром многих механических характеристик структурных систем и выражает энергоёмкость процесса.

Предлагается классифицировать дробимость следующими параметрами: работой $A_{др}$, показателем m_i и уровнем нелинейности $X_{др}$.

Если проанализировать характеристику нелинейности процесса дробления-измельчения (см. рис. 1), то можно установить, что угол, соединяющий критериальные точки $A_{др}$ и измельчения $A_{изм}$ на S-образной кривой разрушения во всем диапазоне изменения процесса (при $0 < m < 1$) остаётся постоянным

$$\operatorname{tg} \bar{\alpha} = \frac{(Y_{A \text{ изм}} - Y_{A \text{ др}})}{(X_{A \text{ изм}} - X_{A \text{ др}})} = \operatorname{const}; \bar{\alpha} = \operatorname{arctg} \left(\frac{\Delta Y}{\Delta X} \right) = \operatorname{const}.$$

Величина угла $\bar{\alpha}$ определена соответствующим уровнем нелинейности, огибающей семейства S-образных кривых разрушения для заданного класса частиц дробления (при $m = 0$)

$$\operatorname{tg} \bar{\alpha} = \frac{(Y_A)}{(X_A)} = \frac{1 - X_A}{X_A} = \left[\left(\frac{1}{X_A} \right) - 1 \right].$$

$$X_A = \frac{1}{(\operatorname{tg} \alpha + 1)}.$$

Таким образом, определяя угол α по S-образным кривым, можно оценить уровень нелинейности функционального процесса при значительном сокращении объёма экспериментальных исследований[2].

Список литературы

1. Миронов В.А., Зюзин Б.Ф., Лотов В.Н. Дистортность в механике горных пород: монография. Тверь: ТвГТУ, 1995. 196 с.
2. Зюзин Б.Ф., Жигульская А.И., Копенкина Л.В. Дистортность в процессах торфяного производства: монография, в 2-х ч. Тверь: ТвГТУ, 2025. Ч. II. 160 с.

УДК 622.72

ГИДРОПРИВОД В КОНУСНЫХ ДРОБИЛКАХ

Лагунова Ю.А.^{1,2}, д-р техн. наук, проф., Калянов А.Е.¹, канд. техн. наук

¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ

²ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, РФ

Показано применение гидропривода в техническом обслуживании конусных дробилок. Проанализировано состояние брони конусных дробилок после выхода их из эксплуатации. Рассмотрен зарубежный опыт. Предложены направления для технологического прорыва: инновации в области применения гидропневмоаккумуляторов, которые позволят оптимизировать производительность конусных дробилок, повысить эффективность процесса дробления и обеспечить безопасные условия труда обслуживающего персонала.

Ключевые слова: конусные дробилки, гидропривод, техническое обслуживание, гидросистема регулирования разгрузочной щели.

HYDRAULIC DRIVE IN CONE CRUSHERS

Lagunova Yu.A., Kalyanov A.E.

The condition of cone crusher armor after their withdrawal from operation is analyzed. The use of a hydraulic drive in the maintenance of cone crushers is shown. Foreign experience is considered. Directions for a technological breakthrough are proposed: innovations in the field of application of hydropneumatic accumulators, which will optimize the performance of cone crushers, increase the efficiency of the crushing process and ensure safe working conditions for maintenance personnel.

Keywords: cone crushers, hydraulic drive, maintenance, hydraulic system for adjusting the discharge gap.

Применение гидропривода в техническом обслуживании конусных дробилок. Для механизации технического обслуживания и ремонта конусных дробилок применяют специальные приспособления и устройства. К ним относят: приспособления для затяжки брони дробящего конуса, для монтажа и демонтажа приводного вала, для монтажа пакетов пружин; гидродомкраты для разгрузки недробимых тел, для выпрессовки опорной чаши.

Для монтажа и обслуживания гидравлического цилиндра дробилок крупного и редуционного дробления предусмотрен рельсовый путь с подъемной платформой и выдвижной площадкой, перекрывающей разгрузочный проем под дробилкой. Подъемная платформа устанавливается на тележку, снабженную вертикальными гидродомкратами, к которым по гибким шлангам подводится давление от гидроагрегата. При использовании данного приспособления осуществляются транспортировка гидравлического цилиндра под дробилку и его подъем для присоединения к фланцу центрального стакана станины. По окончании монтажных или ремонтных работ рельсовый путь перемещается в специальную траншею, выполненную в фундаменте дробилки [1].

Для монтажа и демонтажа приводного вала может быть встроенное (ККД) или навесное (КРД) приспособление. Встроенное приспособление представляет собой два гидроцилиндра двойного действия, установленных в горизонтальных расточках патрубков станины. Гидродомкраты соединены

параллельно общим трубопроводом, что обеспечивает синхронную работу гидродомкратов.

Механизация затяжки и отвинчивания болтовых соединений, используемых для крепления корпусных деталей, осуществляется с помощью стационарных вытяжных домкратов. При подаче давления в гидродомкрат стержень болта удлиняется в пределах упругой деформации, создавая зазор между гидродомкратом и гайкой, которая выбирается вручную с использованием легкого слесарного инструмента. После выбора зазора давление в гидродомкрате снимается.

Для механизации затяжки и отвинчивания болтовых соединений крепления гидравлического цилиндра к станине используются два съемных вытяжных гидродомкрата (рис. 1), состоящие из опоры 1, корпуса 2, плунжера 3 и втулки 4.

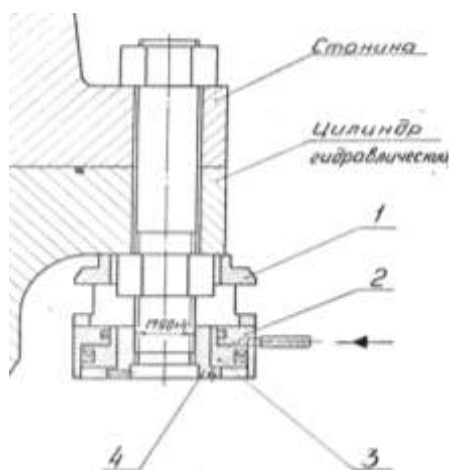


Рис. 1. Гидродомкрат вытяжной:
1 – опора; 2 – корпус; 3 – плунжер;
4 – втулка

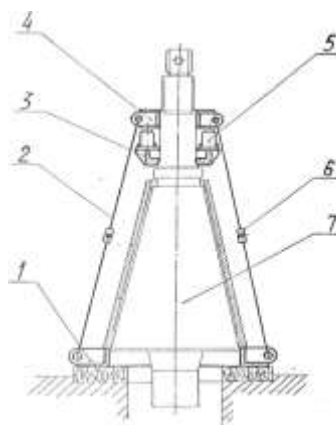


Рис. 2. Приспособление для расфутеровки дробящего конуса: 1 – кольцо нижнее; 2 – тяга; 3 – тарелка; 4 – кольцо верхнее; 5 – гидродомкрат; 6 – муфта; 7 – конус

Для обеспечения безопасного и удобного демонтажа с конусных посадок дробильной чаши и траверсы применяются переносные гидродомкраты, воздействующие на указанные детали с помощью специальных толкателей.

Специальное приспособление, устанавливаемое на дробящий конус, может быть использовано для механизации затяжки и отвинчивания гайки крепления броней дробящего конуса. Гидроцилиндры приспособления работают синхронно, получая давление от насосной станции через золотниковый распределитель. При подаче давления в штоковые полости приспособление работает на завинчивание гайки, а при подаче в поршневые – на отвинчивание. Чтобы обеспечить надежный захват гайки зажимы в приспособлении могут быть переставлены.

Расфутеровка дробящего конуса проводится с помощью приспособления (рис.2), состоящего из опорных колец, тарели, двух тяг и двух гидродомкратов ДГ-200, которые соединяются с маслостанцией гибкими шлан-

гами. Действие устройства заключается в срыве броней с цинковой заливки, при этом тяги 2 должны быть отрегулированы по длине, а давление должно подаваться одновременно в оба гидродомкрата для предотвращения перекоса тарели 3.

Состояние броней конусных дробилок после выхода их из эксплуатации. Проведенные натурные исследования состояния дробилок на ДОФ-6 ПАО «Ураласбест» выявили большие дефекты областей броней конуса и чаши, показанные на рис. 3. Наличие углублений на достаточно большой поверхности брони чаши объясняется падением в дробилку недробимых тел с прочностью материала большей прочности материала броней.



Рис. 3. Износ брони конуса и чаши в процессе эксплуатации

Наиболее перспективным направлением в совершенствовании средств защиты дробилок среднего и мелкого дробления от негативного действия недробимого предмета на рабочие поверхности броней подвижного и неподвижного конусов является разработка многофункциональной гидропневматической системы, обеспечивающей надежную защиту оборудования в форсированных и аварийных режимах.

Зарубежный опыт. Конусная дробилка Parker Plant [2].

Существует четыре типоразмера дробилок фирмы Parker с диаметром конуса 900, 1200, 1350 и 1500 мм и производительностью от 55 до 900 т/ч. Особенностью этих дробилок является наличие трех гидросистем, дополняющих друг друга и взаимодействующих между собой. Гидросистема дробилки *Parker* позволяет за несколько секунд изменять под нагрузкой рабочий зазор (от минимального до максимального значения). Автоматическое включение гидросистемы защиты дробилки *Parker* от перегрузок происходит, когда в дробилку попадает недробимый материал, например, кусок железа. При попадании недробимого предмета, размер которого больше рабочего зазора дробилки, давление жидкости в гидроцилиндрах системы защиты от перегрузки превышает давление в камере гидравличе-

ского регулятора, заполненной сжатым азотом. Газ сжимается, позволяя подняться верхнему конусу и пропустить недробимый предмет или негабаритный кусок материала.

Применение гидросистем защиты Parker от недробимого материала и регулировки зазора, а также применение определенных типов дробящих броней позволяет использовать эти дробилки в качестве среднего и мелкого дробления самых различных материалов.

В отличие от дробилок других производителей на дробилках *Parker* устанавливают три гидропневматических регулятора, каждый из которых связан со своей парой цилиндров. Такая схема позволяет приподнимать только ту часть конуса, в которую попал недробимый элемент, и уменьшить количество недробленного материала, прошедшего через дробилку.

Комбинированная гидросистема (комбинация систем регулировки зазора и защиты от перегрузки) предназначена для очистки рабочей полости дробилки. Дробилку нельзя запустить, если в ее рабочей полости находится материал. Очистка рабочей полости дробилок с пружинной системой защиты от перегрузок связана с необходимостью механического демонтажа узлов дробилки, что приводит к существенным потерям времени и к возникновению жестких ударных нагрузок на конус при возврате машины в рабочее положение. В дробилках *Parker Plant* этот недостаток устранен. Гидроцилиндры системы защиты от перегрузки поднимают верхнюю часть дробилки вместе с неподвижным корпусом, открывая зев дробилки и позволяя материалу проваливаться вниз. Если хода поршня недостаточно, то, подключив систему регулировки зазора, можно увеличить расстояние между конусами примерно в 2 раза.

Направление для технологического прорыва.

Дробление породы в камере дробилки КМД осуществляется следующим образом. При повороте вала эксцентрика на половину полного угла конус отходит от чаши, увеличивается камера дробления, которую под собственным весом заполняет горная порода. При последующем повороте эксцентрика конус приближается к чаше, камера дробления уменьшается, горная порода зажимается и дробится. Наибольший кусок после дробления определяется расстоянием между бронями чаши и конуса. Усилие дробления задается силами прижатия пружинами или гидроцилиндрами [3].

При попадании в дробилку недробимого тела после приближения конуса к чаше на размер недробимого тела при дальнейшем движении конус, воздействуя через тело на чашу, переместит чашу, опорное кольцо и связанные с ними элементы дробилки на некоторый угол относительно точки O_1 контакта опорного кольца с корпусом (рис. 4). При дальнейшем повороте втулки эксцентрика одновременно с отходом конуса от закрытого состояния одновременно с ним начнется опускание пружинами опорного кольца, броня чаши начнет двигаться так же, как и броня конуса и не выпустит недробимое тело из зажатого состояния.

Доказательством стопорения недробимого тела в камере дробления служит схема размеров конуса и чаши дробилки КМД-2200 приведенная на рис. 4. Недробимое тело размером больше 75 мм не сможет войти в параллельную зону камеры дробления. Он остановится на соответствующем его размеру участке приемной зоны и будет совершать движения совместно с броней конуса.

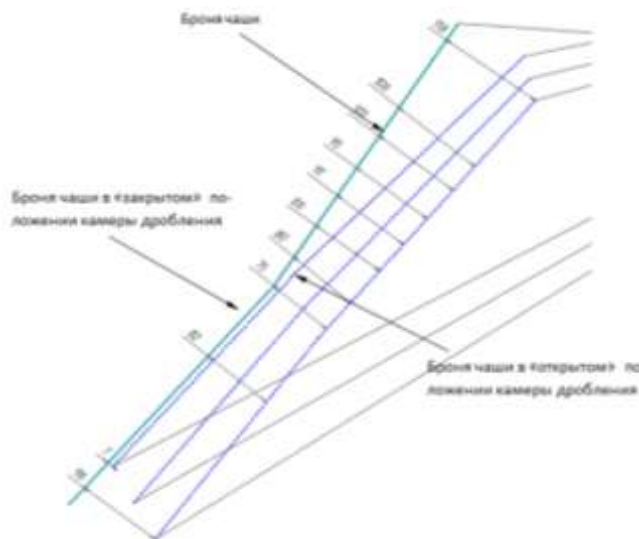


Рис. 4 Схема размеров конуса и чаши КМД - 2200

Вывод. Анализ конструкций показал, что применение гидропневмо-аккумуляторов обеспечивает существенное снижение энергоемкости рабочих процессов и повышение производительности в машинах, рабочие органы которых обладают значительной величиной потенциальной энергии положения.

Список литературы

1. Лагунова Ю.А., Калянов А.Е. Гидропривод в практике технического обслуживания конусных дробилок. Машиностроение и техносфера XXI века // Сб. трудов XX международной научно-технической конференции в г. Севастополе. В 3-х томах.- Донецк: ДонНТУ, 2013.- Т. 2.- С. 64-66.
2. <https://parkerplants.ru/about/>
3. Калянов А.Е., Лагунова Ю.А., Шестаков В.С. Моделирование движения недробимого тела в камере дробления конусной дробилки // Горное оборудование и электромеханика. 2017. № 2. с. 39-45.

УДК 621.926.22

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ ЩЕКОВОЙ ДРОБИЛКИ

Никитин А.Г., профессор, Лубин В.А., аспирант
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк

Описана конструкция двухкамерной щековой дробилки, обеспечивающая непрерывный процесс переработки подлежащего дроблению материала, что способствует повышению производительности дробилки.

Ключевые слова: дробление, двухкамерная щековая дробилка, двуплечий рычаг, шарнир, подвижная щека.

DESIGN FEATURES OF HIGH-PERFORMANCE JAW CRUSHER

Nikitin A.G., Lubin V.A.

The design of a two-chamber jaw crusher is described, which ensures a continuous processing process of the material to be crushed, which helps to increase the productivity of the crusher.

Keywords: crushing, jaw crusher, two-chamber jaw crusher, double-arm lever, hinge, movable jaw.

Высокие темпы роста производства горной, металлургической, строительной и других отраслях промышленности обуславливает увеличение использования минерального сырья, необходимого для ведения технологических процессов. Главным резервом улучшения работы агрегатов, перерабатывающих исходный материал, является повышение их производительности. Все способы подготовки минерального сырья к дальнейшему использованию на первых этапах включают в себя его дробление с целью получения необходимого фракционного состава для дальнейшей переработки.

Наиболее часто для осуществления процесса разрушения кусков хрупкого материала используют дробильные машины различного типа: валковые [1], конусные [2], но в основном щековые [3 – 5].

В общем случае однокамерная щековая дробилка состоит из корпуса, в котором располагаются две щеки, одна из которых крепится к корпусу неподвижно, а другая щека – подвижная, совершающая в процессе работы качательное движение. При этом щеки располагаются относительно друг друга под некоторым углом, то есть зазор между щеками (зона дробления) имеет форму клина.

Щековая дробилка работает следующим образом. Подлежащие дроблению куски хрупкого материала загружаются в зазор сверху. При движении подвижной щеки в сторону неподвижной (рабочий ход) куски сжимаются и под действием возникающих в них нормальных напряжений разрушаются. При обратном ходе подвижной щеки в сторону от неподвижной (холостой ход), полученные при предыдущем ходе раздробленные куски перемещаются вниз под действием силы тяжести. Процесс дробления продолжается до тех пор, пока размер вновь полученных кусков не станет

меньше минимального размера клина, образованного щеками. В этом случае происходит разгрузка зоны дробления.

Недостатком конструкций щековых дробилок является наличие при работе холостого хода, что не только лимитирует их производительность, но и ведет к перерасходу энергии.

Сотрудниками Сибирского государственного индустриального университета разработана конструкция двухкамерной щековой дробилки, обеспечивающая непрерывный процесс переработки подлежащего дроблению материала [6].

На рисунке схематично изображена предлагаемая двухкамерная щековая дробилка. Дробилка состоит из корпуса 1, с установленным на нем кривошипом 2, приводимым в движение электродвигателем (условно не показан). Кривошип 2 шарнирно соединен с приводным шатуном 3, шарнирно соединенным с подвижной щекой 4, выполненной в виде двуплечего рычага, опирающегося в нижней части на промежуточный шарнир 5, закрепленный на корпусе 1, при этом рычаг 4 имеет возможность поворачиваться относительно шарнира 5. Нижнее плечо двуплечего рычага 4 посредством промежуточных шатунов 6 шарнирно соединено с двумя боковыми подвижными щеками 7 и 8, которые закреплены их верхними частями шарнирно на корпусе 1. В верхней части корпуса 1 расположено загрузочное окно 9, а в нижней – разгрузочное окно 10.

Работа устройства осуществляется следующим образом. Кусок дробимого материала подается через загрузочное окно 9 в одну из камер дробления, например, камеру I, в зону дробления. При вращении кривошипа 2 движение от него через шатун 3 передается рычагу 4. Рычаг 4 верхним плечом совершает качание в сторону боковой щеки 7 и дробит кусок. Одновременно нижнее плечо рычага 4 движется в противоположную сторону и через промежуточный шатун 6 тянет щеку 7, сжимая и разрушая дробимый материал в нижней части щеки 7, при этом зазор в горизонтальной плоскости на уровне опорного шарнира 5 уменьшается. В процессе движения верхнего плеча рычага 4 в сторону щеки 7 камера II раскрывается и в нее подается другой кусок. Во время обратного хода шатуна 3 рычаг 4 нижним плечом через промежуточный шатун 6 отодвигает щеку 7 от опорного шарнира 5. При этом зазор в горизонтальной плоскости на уровне опорного шарнира 5 увеличивается, и раздробленный материал удаляется через разгрузочное окно 10, а рычаг 4 верхним плечом совершает качание в сторону боковой подвижной щеки 8 и дробит кусок. В дальнейшем, цикл дробления и разгрузки повторяется.

Таким образом, при каждом качании рычага происходит процесс дробления, исключая холостой ход, что позволяет повысить производительность щековой дробилки.

Технический результат, получаемый при использовании предлагаемой конструкции двухкамерной щековой дробилки, заключается в расширении технологических возможностей устройства за счет того, что под-

вижная щека, приводимая в движение кривошипно-шатунным механизмом, выполнена в виде двуплечего рычага, закрепленного на корпусе с помощью промежуточного шарнира, и соединенного шарнирно нижним плечом посредством промежуточных шатунов с подвижными боковыми щеками. Это позволяет изменять величину зазора на уровне шарнира, что исключает вероятность заклинивания камеры дробления разрушаемым материалом, и, как следствие, приводит к повышению производительности щековой дробилки.

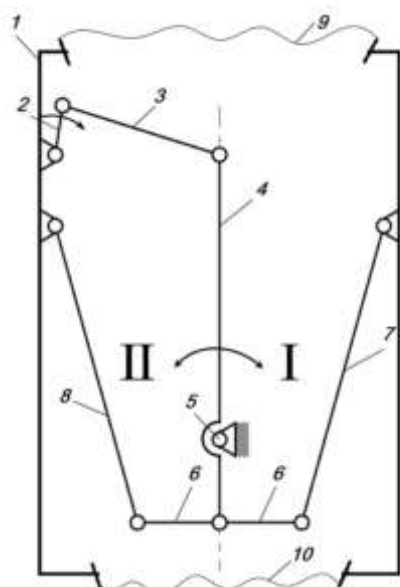


Рисунок – Схема двухкамерная щековой дробилки
1 – станина; 2 – кривошип; 3 – приводной шатун; 4 – подвижная щека; 5 – опорный шарнир; 6 – промежуточный шатун; 7, 8 – боковая подвижная щека; 9 – загрузочное окно; 10 – разгрузочное окно

Выводы. Анализ работы однокамерных щековых дробилок показал, что их недостатком является наличие при работе холостого хода, что не только лимитирует производительность, но и ведет к перерасходу энергии. Разработана конструкция двухкамерной щековой дробилки, обеспечивающая непрерывный процесс переработки подлежащего дроблению материала, что способствует повышению производительности дробилки

Список литературы

1. Holger Lieberwirth, Philipp Hillmann, Max Hesse. Dynamics in double roll crushers. Minerals Engineering, volumes 103–104, april 2017, pp. 60-66. – doi. org/10.1016/j. mineng. 2016.08.009.
2. Atta K.T., Euz'ebio T., Ibarra H., Silva Moreira V., Johansson A. Extension, Validation, and Simulation of a Cone Crusher Model. IFAC-PapersOnLine. 2019, vol. 52, no. 14, pp. 1–6. – doi. org/10.1016/j. ifacol.2019.09.154.
3. Legendre, D. Numerical and Experimental Optimization Analysis of a Jaw Crusher and a Bubble Column Reactor; Åbo Akademi University: Turku, Finland, 2019. 78 p.
4. Никитин А.Г., Люленков В.И., Витушкин А.В., Калюкина Н.Д. Сравнительный анализ работы щековых дробилок с различными кинематическими схемами // Известия вузов. Черная металлургия. – 2012, №10. С. 30-31. – doi.org/10.17073/0368-0797-2012-10-30-31.
5. Клушанцев Б.В. Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации / Б.В. Клушанцев, А.И. Косарев, Ю.А. Муйземнек. – Москва: Машиностроение, 1990. – 320 с.
6. Патент РФ № 227063. Двухкамерная щековая дробилка / Никитин А.Г., Лубин В.А. – Заявка №2024113035 от 15.05.2024; опубл. 04.07.2023, Бюл. № 19.

УДК 621.926.22

ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТНЫХ ПОДШИПНИКОВ В УЗЛАХ КАЧЕНИЯ ЩЕКОВЫХ ДРОБИЛОК

Майоров С.А., канд. техн. наук, **Унжакова Д.А.**, студент
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург

Представлена информация о работе магнитного подшипника в узле качения щековой дробилки. Ее преимущества по отношению к традиционно применяемым подшипникам качения.

Ключевые слова: магнитный подшипник, узел качения, дробилка.

THE USE OF MAGNETIC BEARINGS IN THE SWING UNITS OF JAW CRUSHERS

Mayorov S.A. Unzhakova D.A.

The article provides information about the operation of a magnetic bearing in the jaw crusher swing unit. Its advantages in relation to the traditionally used rolling bearings.

Keywords: Magnetic bearing, swing assembly, crusher.

Применение магнитных подшипников в узлах качения щековых дробилок со сложным качанием щеки представляется как перспективное усовершенствование конструкции, учитывая повышение эффективности механизма, а также и повышение надежности данного узла. Если рассматривать подшипники качения (рис. 1), которые чаще всего используются в узлах качения дробилок, то они подвержены сильному износу из-за высоких нагрузок и абразивной среды. А также можно отметить шум и вибрационные нагрузки, возникающие при использовании традиционных подшипников качения. Вследствие этих факторов оборудование может выйти из строя, что приводит к его простоя или частой замене узла, что неблагоприятно влияет на экономическую составляющую производства. При применении подшипника качения так же важно правильное осевое позиционирование и правильный подбор смазочного материала, во избежание повышенных температур приводящих к износу и дальнейшему разрушению подшипника качения.

Учитывая все минусы подшипника (рис. 1), рационально будет использовать магнитные подшипники (рис. 2), которые превалируют над подшипниками качения в следующих пунктах [1]:

- обеспечивают бесконтактную поддержку;
- отсутствие трения, что уменьшает риск разрушения составляющих внутренних узлов;
- исключение наличия смазки;
- снижение энергопотребления при его эксплуатации.

Все это уменьшает риски в простое производства, экономических потерь и значительно упрощает обслуживание, в том числе и экологическую обстановку в зоне обслуживания щековой дробилки [2].

Интегрирование магнитных подшипников в узел качения щековой дробилки не только продлит срок службы и упростит обслуживание, но и

повысит точность ее работы, это позволит дробить материал более равномерно, и будет способствовать увеличению производительности дробилки [3].



Рис. 1. Часто используемые подшипники в узлах качения щековых дробилок



Рис. 2. Магнитный подшипник, поддерживающий нагрузку с помощью магнитной левитации

В щековых дробилках со сложным качанием щеки магнитный подшипник обеспечивает стабильность работы и плавность хода.

Однако существуют и недостатки при использовании магнитных подшипников в щековых дробилках, а именно:

- ограничения рабочих условий, например, в условиях агрессивной химической среды магнитные подшипники могут быстро выйти из строя [4].

- необходим постоянный источник энергии для поддержания магнитного поля, при отключении электроэнергии подшипник не будет работать, что приведет к неисправности оборудования.

Вывод. Использование магнитных подшипников значительно увеличивает срок службы работы узла в виду отсутствия физического контакта и трения, и повысит производительность производства в целом.

Список литературы

1. Швайцер, Г., Характеристики магнитного подшипника ротора для активного контроля вибрации, доклад С239/76, Первая международная конференция по вибрациям во вращающихся механизмах, (1976)
2. Щеклеина И. Л., Горякова В. В. Об истории развития и применения активных подшипников // Энергетика настоящего и будущего: сб. материалов I Евроазиатской выставки и конф. (16–18 февр. 2010 г.). Екатеринбург: УГТУ – УПИ, 2010.
3. Журавлев Ю. Н. Активные магнитные подшипники: теория, расчет, применение. СПб.: Политехника, 2003. 206 с
4. Поляхов Н. Д., Стоцкая А. Д. Обзор способов практического применения активных магнитных подшипников // Научное приборостроение. 2012. Т. 22, № 4. С. 5–18.

УДК 621.926.22

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОДШИПНИКОВОГО УЗЛА КАЧАНИЯ ЩЕКОВОЙ ДРОБИЛКИ

Майоров С.А., канд. техн. наук, Спиридович Р.А., студент
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург

Представлена информация о зарубежной конструкции подшипникового узла щековой дробилки со сложным качанием щеки. Ее преимущества по отношению к отечественной конструкции.

Ключевые слова: альтернативная конструкция, узел качания, дробилка.

FOREIGN EXPERIENCE OF ALTERNATIVE DESIGNS OF THE JAW CRUSHER SWING BEARING ASSEMBLY

Mayorov S.A, Spiridovich R.A.

The article provides information on the foreign design of a jaw crusher bearing unit with a complex cheek swing. Its advantages in relation to the domestic design.

Keywords: Alternative construction, swing assembly, crusher.

Рассмотрим альтернативную конструкцию подшипника узла качания щековой дробилки производства фирмы Metso [1], и сравним с подшипником отечественной модели дробилки ЩД-6 [2].

Основное отличие подшипникового узла качания дробилки Nordberg C-140 от ЩД-6 – наличие системы автоматической смазки подшипника, в то время как в отечественном аналоге используется ручная и полуавтоматическая система смазки. В конструкции применяются эксцентриковые валы и подшипники большего размера. Это способствует увеличению амплитуды колебаний щеки и, следовательно, большей производительности дробилки [3].

Стоит отметить, что в конструкции подшипникового узла Nordberg используют более современные подшипники, которые обеспечивают лучшую устойчивость к нагрузкам и износостойкость. Также, подшипники имеют специальные уплотнения для защиты от загрязнений, что видно на рисунке 1.

Nordberg C140 предусматривает гидравлическое крепление подшипников [1], чего нет на дробилках типа ЩД-6, в которых крепление обеспечивается только фланцами либо шпоночными пазами [2].

Сравнение дробилок проведем по известной зависимости

$$Q = N \cdot \eta / W, \quad 1$$

где Q – производительность дробилки, т/ч; N – мощность, передаваемая на эксцентриковый вал, кВт; η – коэффициент полезного действия; W – работа, необходимая для дробления единицы материала, кДж/т.

Возьмём исходные характеристики сравниваемых дробилок и проведём достаточно грубый анализ производительности, не учитывающий конструктивные особенности подшипников – из-за этого могут получаться меньшие значения силы трения и сопротивления, что может повлиять на расчёт. Также, примем равные значения мощности электродвигателя. Та-

ким образом, получаем расчёт, зависящий только от конструкции подшипникового узла.



Рис. 1. Подшипник NORDBERG 6206Z (62x30x16)

Модель дробилки	Диаметр выходного участка эксцентрикового вала, мм	Мощность электродвигателя, кВт	Работа дробления (гранит), кВт·ч/т
ЩД-6	420	110	16
Nordberg C-140	610		12

Проведённые расчёты показали, что КПД дробилки ЩД-6 равен 75 %, а у Nordberg C140 приблизительно равен 87 %, то есть выше отечественного аналога на 12 %.

Подставляя значения в формулу 1, получаем следующие значения:

производительность дробилки Nordberg C140 = 7,98 т/ч;

производительность дробилки ЩД-6 = 5,16 т/ч.

Таким образом, конструкция узла зарубежной дробилки обеспечивает повышение производительности на 35 %.

Выводы.

1. При должной доработке конструкции корпуса и подшипникового узла дробилки ЩД-6 возможно повышение производительности приблизительно на 30 %.
2. Для составления проекта модифицированной дробилки необходимы более точные расчёты на АРМ Integrator и подбор соответствующих конструктивных элементов.

Список литературы

1. Официальный сайт компании Metso, каталог дробилок.
2. Официальный сайт Уральского завода котельного оборудования, каталог дробилок.
3. 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.

УДК 621.926.22

СИЛЫ ТРЕНИЯ И СОПРОТИВЛЕНИЯ В ПОДШИПНИКАХ УЗЛОВ КАЧАНИЯ ЩЁКОВЫХ ДРОБИЛОК

Майоров С.А., Кириченко К.А.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

Рассматриваются силы трения и сопротивления, действующие в подшипниках узлов качания щёковых дробилок со сложным качанием щеки, а также их влияние на эксплуатационные характеристики оборудования.

Ключевые слова: подшипник, щёковая дробилка, сила трения, сила сопротивления

FRICITION AND RESISTANCE FORCES IN BEARINGS OF SWING UNITS OF JAW CRUSHERS

Mayorov S.A., Kirichenko K.A.

This article discusses the friction and resistance forces acting in the bearings of the rocking units of jaw crushers with complex rocking of the jaw, as well as their influence on the operational characteristics of the equipment

Keywords: bearing, jaw crusher, friction force, resistance force

Щёковые дробилки обеспечивают дробление горных пород. Узел качания щеки – один из ключевых узлов этих горных машин. Он обеспечивает движение дробящего элемента. Эффективность работы дробилки во многом зависит от характеристик подшипников, которые обеспечивают вращение и качание щеки. Подшипники в узлах качания щёковых дробилок могут быть как скользящими, так и качения. Силы трения в подшипниках можно разделить на статическое и динамическое трение. Статическое трение возникает при начале движения, а динамическое трение действует во время работы механизма. Сопротивление в подшипниках связано с несколькими факторами, включая качество смазки, материал подшипников и условия эксплуатации. Неправильный выбор смазки может привести к увеличению трения, что ведёт к повышенному износу подшипников [1].

Силы трения и сопротивления в подшипниках узлов качания щёковых дробилок определяют:

$$F_t = \mu * N,$$

где F_t - сила трения; μ - коэффициент трения; N - нормальная сила, действующая на подшипник. Коэффициент трения зависит от материала подшипника и условий смазки. В щёковых дробилках, где подшипники подвергаются высоким нагрузкам и вибрациям, важно учитывать изменение коэффициента трения в зависимости от температуры и скорости [2]:

$$F_r = k * \frac{P}{A},$$

где F_r – сила сопротивления; k – коэффициент сопротивления; P – нагрузка на подшипник; A – площадь контакта.

В условиях эксплуатации щёковых дробилок, где подшипники подвергаются значительным динамическим нагрузкам, необходимо учитывать влияние вибраций и ударных нагрузок на величину сопротивления.

Экспериментально установлено, что с увеличением нагрузки на подшипник (в пределах допустимых норм) приведенный коэффициент трения несколько снижается в зависимости от угловой скорости и от нагрузки [3].

Для снижения сил трения и сопротивления в подшипниках узлов качания щековых дробилок следует:

1) *Оптимизировать конструкцию подшипников.* Использование современных материалов и технологий, таких как керамические и композитные подшипники, может значительно снизить трение и увеличить срок службы.

2) *Правильно подобрать смазку.* Использование высококачественных смазочных материалов, способных выдерживать высокие температуры и нагрузки, поможет уменьшить трение и износ.

3) *Контролировать состояние подшипников.* Внедрение системы мониторинга, позволяющей отслеживать состояние подшипников в реальном времени, поможет предотвратить аварийные ситуации и продлить срок службы оборудования [4].

Заключение. Силы трения и сопротивления в подшипниках узлов качания щековых дробилок со сложным качанием щеки играют критическую роль в их работе. Понимание этих сил и факторов, влияющих на них, позволяет оптимизировать конструкцию и эксплуатацию дробилок, что, в свою очередь, повышает их эффективность и надёжность. Внедрение современных технологий и регулярный мониторинг состояния подшипников являются ключевыми аспектами для достижения высоких показателей работы щековых дробилок в горной промышленности.

Список литературы

1. Бродский В. З., Гольдфарб М. Е. «Подшипники скольжения и качения». – М.: Машиностроение, 2010.
2. Кулаков П. А., Смирнов И. Н. «Трение и износ в машинах». – СПб.: Политехника, 2015.
3. ГОСТ 8338-75. Подшипники качения. Общие технические условия.
4. Гостев В. Г. «Конструкции и расчет щековых дробилок». – Екатеринбург: УГГУ, 2018.

УДК 622.7.05

УПРАВЛЕНИЕ РУДОПОТОКОМ ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ ГЕТЕРОГЕННЫХ РУД ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

А. С. Морин¹, К. А. Штреслер¹

¹ Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

Изложены принципы управления рудопотоком для повышения полноты извлечения полезного ископаемого из недр при открытом способе разработки месторождения. Предложена технология предварительного обогащения крупнокускового материала с неравномерным пространственным распределением ценного компонента, позволяющая вовлекать в переработку забалансовые запасы руды.

Ключевые слова: открытая разработка месторождений, балансовые запасы, рудоподготовка, предварительное обогащение, гетерогенные руды, рудосортировка, покусковая сепарация, дробление, грохочение.

ORE FLOW MANAGEMENT IN OPEN-PIT MINING OF HETEROGENEOUS NON-FERROUS METAL ORES

A. S. Morin, K. A. Shtresler

The principles of ore flow management are outlined to increase the completeness of mineral extraction from the subsurface during the open-pit mining process. A technology for pre-processing coarse-grained material with an uneven spatial distribution of the valuable component is proposed, which makes it possible to involve off-balance sheet ore reserves in processing.

Keywords: open-pit mining, balance reserves, ore preparation, pre-processing, heterogeneous ores, ore sorting, bulk separation, crushing, screening.

При открытой разработке рудных месторождений, характеризующихся неравномерным пространственным распределением ценного компонента, актуально применение технологий предварительного обогащения методом покусковой сепарации непосредственно рядом с объектом горных работ. Рудопоток из карьера при этом может быть существенно дополнен продуктами переработки кусков руды с низким забалансовым содержанием ценного компонента путём их сортировки, избирательного дробления и грохочения. [1]

Реализация этой концепции становится возможной на тех участках месторождения, где существует обусловленная особенностями геохимического генезиса рудного тела прямая зависимость между содержанием ценного компонента в руде и степенью её измельчения. Процесс рудоподготовки в этом случае включает ряд последовательных операций с отбитой горной массой, порядок выполнения которых представлен на рис. 1.

Взорванные вскрышные породы отгружают и вывозят во внешний отвал. Перед погрузкой часть вскрышных пород, расположенных в приконтактной с рудным телом зоне, опробуют на наличие ценного компонента. [2] При содержании ценного компонента свыше 25÷30% от балансового содержания эти породы направляют на резервный склад некондиционной руды. [3]

При наличии признаков гетерогенности на отрабатываемом участке месторождения экспериментальным путем подбирают сетку взрывных скважин, удельный расход взрывчатых веществ и схему коммутации зарядов, исходя из необходимости повысить долю измельчённых балансовых руд для форми-

рования богатого по содержанию мелкого немашинного класса крупности. При дроблении руды взрывом обеспечивается перераспределение содержания ценного компонента в руде – рост его концентрации в мелких классах крупности и соответствующее снижение в крупных классах. В связи с этим взорванную руду сортируют по крупности на колосниковом грохоте, а полученный подрешетный продукт крупностью –300 мм направляют на обогатительную фабрику.



Рис. 1. Схема управления рудопотоком

Надрешетный продукт крупностью +300 мм подвергают сортировке по содержанию ценного компонента, например, методом сенсорной сепарации. [4, 5] Куски с балансовым содержанием транспортируют на обогатительную фабрику, а с забалансовым – направляют на сортировку для выявления кусков с неравномерным распределением ценного компонента, например, рентгеноабсорбционным методом. Сортируемую на этом этапе горную массу предварительно дополняют некондиционной рудой с резервного склада. Отходы сортировки (куски руды с однородным распределением ценного компонента) транспортируют в отвал. Продукт сортировки (куски с неравномерным распределением ценного компонента) подвергают переработке: загружают его в дробилку для прохождения следующей стадии измельчения и сепарируют измельченную горнорудную массу по содержанию ценного компонента. Отобранные в процессе сепарации куски с балансовым содержанием ценного компонента направляют на обогатительную фабрику.

Оставшийся после сортировки объем горнорудной массы с забалансовым содержанием дополняют некондиционной рудой с резервного склада, замещая тем самым объемы отходов сортировки, отошедшие в отвал, и объемы продукта сортировки, направленные на обогатительную фабрику. Затем осуществляют очередной цикл переработки горнорудной массы, включающий её сортировку по неравномерности распределения ценного компонента, измельчение в дробилке и сортировку по содержанию ценного ком-

понента. Циклы переработки горнорудной массы с замещением продуктов и отходов сортировки некондиционной рудой с резервного склада повторяют до потери признаков неравномерности распределения ценного компонента в её кусках.

Моделирование результатов отработки месторождения по предложенной технологии с учетом основных технико-экономических показателей и установления технологических критериев эффективности показало, что максимальные эффекты будут достигнуты для руд цветных металлов и золота при дополнительном объеме добычи руды в 3-9 раза (рис. 2) $K_{рм}$ определяется степенью вкрапления ценного компонента во вмещающие (пустые) породы, в условиях природного залегания и при разработке месторождения. [8]

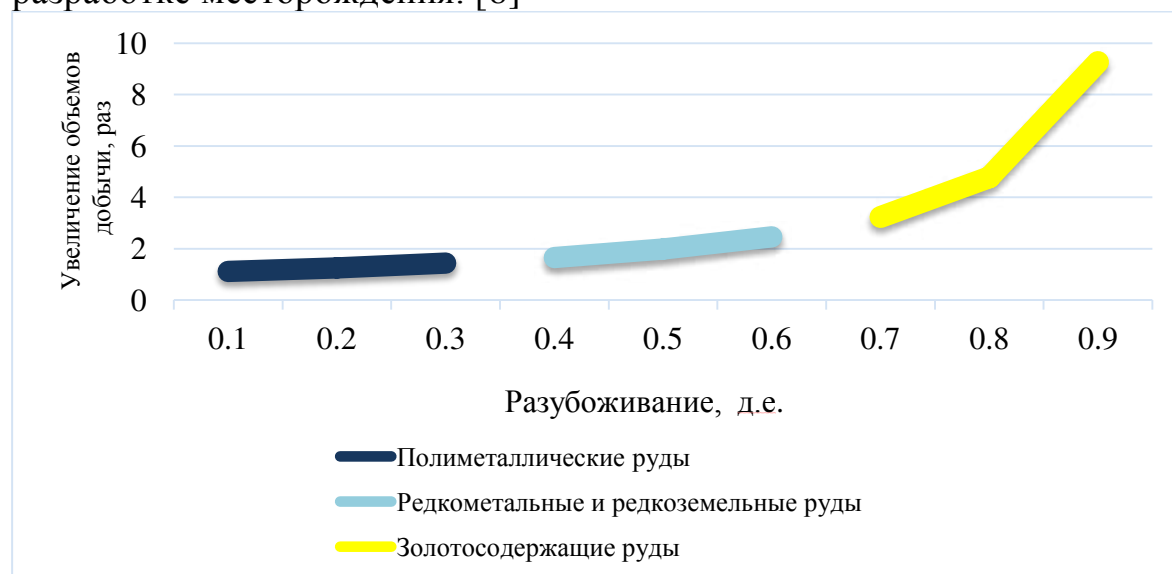


Рис. 2. Зависимость величины $K_{рм}$ от объемов добычи и разубоживания

1 Основа для управления качеством руд - контрастность и содержание ценного компонента в отбитой горной массе могут и не коррелировать [1, 2].

2 Погрешность оценки эффективности обогащения для операции рудоподготовки и предварительного обогащения на единичной пробе забойной крупности существенно превышает таковую в процессах глубокого обогащения. Это осложняет, во-первых, технологические исследования в лабораторных условиях на крупнотоннажных пробах в силу необходимости выполнения требований повторяемости их результатов. Во-вторых, определяет высокую погрешность результатов тестовой оценки контрастности и обогатимости с использованием распространенной методики. [4, 5]

3 Способность устройства разделять рудопоток на обогащенный и обедненный продукты зависит не только от конструкции аппарата (рудоконтролирующей станции), выбранного метода (свойств и параметров сенсоров и датчиков). Важным фактором является точность оценки содержания золота в кусках сортируемой руды, погрешность при оценке которой

обусловлена влажностью, запыленностью, переизмельчением, загрязнение кусков руды глинами, статистической неточностью при регистрации сигналов, наложением сигналов от элементов руды сопутствующих ценному компоненту; изменяющейся структурой, свойствами и вещественным составом руды, абсорбционной способностью, проявлением дифракционных эффектов (для рентгенорадиометрических методов), изменчивостью гранулометрического состава и формой кусков руды, расположением кусков в рудопотоке и расстоянием до сенсора, распределением зерен ценного компонента и их сростков на поверхности и внутри кусков.

4 Эффективность внедрения предложенного способа отработки месторождения может быть определена аудитом состояния горнодобывающего предприятия или проекта его строительства, проведением технологических и конъюнктурных исследований, подготовкой технико-экономического обоснования с оценкой рисков его реализации в период окупаемости.

5 Эффективность управления рудопотоком определяется увеличением объемов переработки руд для компенсации отсортированной горной массы без увеличения производительности обогатительного комплекса, вовлечение приконтактных пород в разработку позволяет снизить потери золота при добыче и компенсировать потери металла с отвалами при сортировке руды увеличением извлечения золота при глубокой обогащении и химико-металлургической переработке относительно среднеотраслевых показателей.

6 Экономическими критериями целесообразности системы управления рудопотоками является компенсация дополнительных затрат $Z_{по}$ снижением издержек глубокого обогащения и химико-металлургического передела. Выход отвальных хвостов должен превышать величину отношения эксплуатационных затрат комплекса рудоподготовки с учетом амортизационных отчислений на основное оборудование к сумме издержек предприятия на транспортировку и переработку сырья в товарный продукт.

Список литературы

1. Ревнивцев В.И. Подготовка минерального сырья к обогащению и переработке. Недра. 1987.
2. Ревнивцев В.И., Рыбакова Т.Г., Леман Е.П. Рентгенорадиометрическое обогащение комплексных руд цветных и редких металлов, Недра, 1990.
3. Старчик Л. П. Сортировка и сепарация минерального сырья на основе информационных признаков // ГИАБ. 2009. №12..
4. Скорик Л.Ф., Павлов Н.А., Сацук А.С. О повышении эффективности системы управления качеством золотосодержащих руд// Путь науки. 2017. № 1 (35). <https://elibrary.ru/item.asp?id=28123630> (дата обращения: 24.12.2024)
5. Медников Н. Н., Шеметов П. А., Селезнев А. В. Система формирования качества рудного потока при разработке сложно-структурного месторождения // ГИАБ. 2003. №7.

УДК 622.23.05

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ГОРНОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

С. А. Попов¹, аспирант, В. Н. Макаров¹, д-р техн. наук,

Е. К. Пазилова¹, студент, К. А. Усков², инженер-проектировщик

¹ ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет», г. Екатеринбург,

² АО «Уралмеханобр», Екатеринбург, Российская Федерация

Приведен обзор существующих методов автоматизации проектирования обогащательного оборудования. Основными задачами статьи являлось рассмотрение существующих методов автоматизации проектирования. В статье приведены основные методы, такие CAD/CAE/CAM системы, среда общих данных, диаграммы Ганта.

Ключевые слова: автоматизированное проектирование, CAD, диаграммы Ганта, среда общих данных, управление проектом.

AUTOMATION OF DESIGN PROCESSES FOR PROCESSING EQUIPMENT

S. A. Popov, V. N. Makarov, E. K. Pazilova, K. A. Uskov

The article provides a review of existing methods of design automation of enrichment equipment. The main objectives of the article were to review the existing methods of design automation. The main methods such as CAD/CAE/CAM systems, common data environment, Gantt charts are given in the article.

Keywords: computer-aided design, CAD, Gantt charts, shared data environment, project management.

В настоящее время нарастает уровень интереса к автоматизации всевозможных процессов, в том числе и проектирования. Сфера проектирования горного оборудования не остается в стороне – начинает появляться огромный спрос на автоматизацию процессов при разработке горного оборудования. Современный процесс проектирования в целом сложно представить без автоматизации. Автоматизация позволяет решать вопросы, связанные с работой оборудования, еще до появления полностью работоспособного прототипа. Иными словами, автоматизация проектирования позволяет сократить срок производства оборудования, и повысить качество изделия, начиная от идеи, заканчивая реализацией. Термин автоматизированное проектирование подразумевает процесс или совокупность мероприятий, направленных на выполнение проектных решений с помощью персонального компьютера.

Проблемы, с которыми сталкивается итоговый потребитель, это экстремальные условия эксплуатации изделий, сложность конструкции, большое количество электронного навесного оборудования, длительный срок проектирования и реализации. Все перечисленные проблемы определяют необходимость автоматизации всех этапов жизненного цикла оборудования [1].

На текущее время существует множество методов автоматизации процессов проектирования, самые основные из них:

1. CAD/CAE/CAM – системы

Современные системы автоматизированного проектирования (CAD), инженерного анализа (CAE) и компьютерного производства (CAM) ис-

пользуются для разработки точных трехмерных моделей оборудования, проведения прочностных расчетов и симуляции производственных процессов. Наиболее популярными инструментами являются AutoCAD, SolidWorks, ANSYS и Autodesk Inventor, которые обеспечивают быструю разработку конструктивных решений, интеграцию проектных данных и проведение виртуальных испытаний [2].

2. PLM/PDM – системы



Рис. 1. Схема работы среды общих данных

Системы управления жизненным циклом продукта (PLM) и управления инженерными данными (PDM) позволяют координировать процессы разработки, производства и эксплуатации оборудования. Платформы, такие как Siemens Teamcenter, PTC Windchill и Dassault Systèmes ENOVIA, обеспечивают хранение и обмен данными, управление версиями проектов и контроль изменений. Эти системы позволяют интегрировать всю информацию о продукте на всех этапах его жизненного цикла, что особенно важно для сложных обогатительных комплексов (рис. 1) [3].

3. Программное обеспечение для управления проектами

Для эффективного управления проектированием широко используются автоматизированные системы управления проектами. Среди них выделяется MS Project от Microsoft, предоставляющий инструменты для планирования, распределения ресурсов, контроля сроков и бюджета. MS Project поддерживает диаграммы Ганта, сетевые графики и аналитические отчеты, что позволяет оптимизировать выполнение задач и координацию между различными отделами. Его применение в проектировании обогатительного оборудования улучшает контроль над процессами, минимизирует риски задержек и увеличивает прозрачность выполнения проектов [4].

Существующие методы автоматизации процессов проектирования позволяют более точно определять сроки разработки документации, проверять работоспособность оборудования в различных условиях, управлять процессом проектирования непосредственно в любой момент времени [5]. Комбинированное использование CAD/CAE/CAM-систем, PLM/PDM-платформ и программ для управления проектами, таких как MS Project, позволяет значительно повысить эффективность проектирования обогатительного оборудования.

Вывод. Системы управления жизненным циклом продукта (PLM) и управления инженерными данными (PDM) позволяют координировать

процессы разработки, производства и эксплуатации оборудования. Комбинированное использование CAD/CAE/CAM-систем, PLM/PDM-платформ и программ для управления проектами, таких как MS Project, позволяет значительно повысить эффективность проектирования обогатительного оборудования.

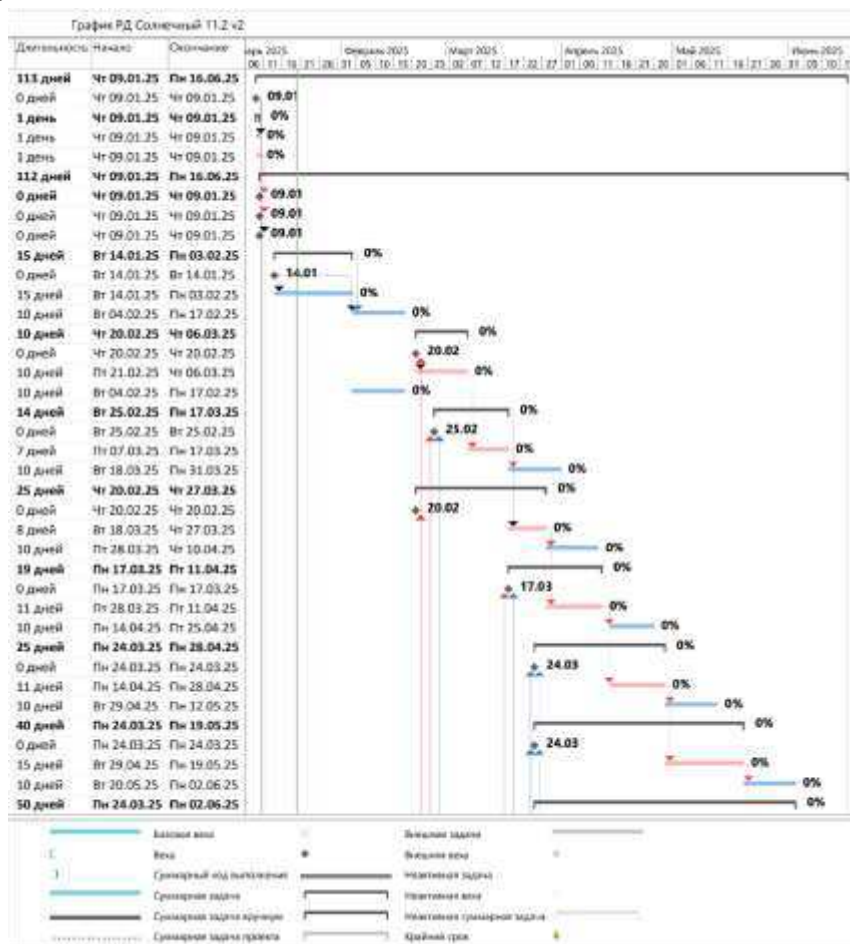


Рис. 2 Управление процессом проектирования при помощи диаграмм Ганта

Список литературы

1. Основные принципы создания систем автоматизации проектирования и управления в машиностроительных производственных системах // Elibrary URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_38251329_35022408.pdf (дата обращения: 24.02.2025).
2. Сравнительный анализ систем автоматизированного проектирования работ (CAD) и систем информационного моделирования зданий (BIM) // Elibrary URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49903450> (дата обращения: 20.02.2025).
3. Взаимодействие участников BIM-проектирования в среде общих данных // Elibrary URL: <https://elib.psu.by/bitstream/123456789/44313/1/98101.pdf> (дата обращения: 25.02.2025).
4. Планирование строительства в различных программных комплексах // Elibrary URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_42614770_80417916.pdf (дата обращения: 25.02.2025).
5. Проектирование обогатительных фабрик // Elibrary URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24743592> (дата обращения: 22.02.2025).

УДК 622.232.8

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗАБАЛАНСОВОЙ СУЛЬФИДНОЙ РУДЫ ДО И ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КУСКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Афанасьев А.И., проф., Потапов В.Я., проф., Стожков Д.С., доц., Потапов В.В., доц.
Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

Рассматривается исследование измельчения бедной сульфидной руды до и после воздействия на куски электрического тока, позволяющего получить существенное ослабление механической прочности горной породы. Руды подвергались ударному разрушению до крупности -25 мм с последующим ситовым анализом. После ударного разрушения горная масса помещалась в отдельные камеры мельницы и измельчалась в течении 20 минут. При экспериментах замерялись: время (t), величина тока (I) в якорной цепи и шунтовой обмотке, величина напряжения (U), средний расход энергии (по ваттметру) и величина выхода готового продукта за определенное время. Установлено, что энергоемкость процесса измельчения электрообработанной руды практически на 20 % меньше, чем не электрообработанной. Также установлено, что в процессе взаимодействия перерабатываемой горной породы в мельнице происходит износ футеровок и мелющих тел.

Ключевые слова: Электрообработка руды, мельница, футеровка, изнашивание, дробление, горная порода, энергоемкость процесса

STUDY OF PULVERISATION OF OFF-BALANCE SULPHIDE ORE BEFORE AND AFTER EXPOSURE OF PIECES TO ELECTRIC BREAKDOWN

Afanasiev A.I., Potapov V.Y., Stozhkov D.S., Potapov V.V.

The article discusses the study of grinding low-grade sulfide ore before and after exposing the pieces to electrical breakdown, which allows for a significant weakening of the mechanical strength of the rock. The ore was subjected to impact destruction to a particle size of -25 mm, followed by sieve analysis. After impact destruction, the rock mass was placed in separate chambers of the mill and crushed for 20 minutes. During the experiments, the following were measured: time (t), current value (I) in the armature circuit and shunt winding, voltage value (U), average energy consumption (by wattmeter) and the output value of the finished product for a certain time. It has been established that the energy intensity of the grinding process of electrically treated ore is almost 20% less than that of non-electrified ore. It was also established that during the processes of interaction with the processed rock in the mill, wear of the linings and grinding bodies occurs, since metal appeared in the sample of crushed ore.

Keywords: Electrical processing of ore, mill, lining, wear, crushing, rock, energy intensity of the process

Дробление и измельчение минерального сырья являются относительно энергоемкими процессами. Они потребляют почти пятую часть всей вырабатываемой электроэнергии [1].

Это связано с тем, что в горнодобывающей промышленности увеличивается глубина карьеров, возрастает прочность добываемой руды, снижается её измельчаемость, что приводит к существенному увеличению удельного расхода электроэнергии на добычу и обогащение [2-5].

Барабанные мельницы являются основным технологическим оборудованием для измельчения сульфидных руд до крупности меньше 5 мм. Этот размер является условным и может изменяться в зависимости от способа разрушения и вида горной породы [2, 6-8].

В результате эксперимента вся горная масса разделялась на две части: пробиваемая током и непробиваемая током. Обе части взвешивались и подвергались ударному разрушению до крупности -25 мм с последующим ситовым анализом. Удар по куску руды наносился плоским торцом рабочего инструмента 2 магнитно-индукционного ударника (рис. 1) с конденсаторным накопителем энергии. Величина энергии удара изменялась в зависимости от крупности кусков. Необходимая величина энергии удара устанавливалась путем изменения напряжения заряда конденсаторной батареи [5].

После ударного разрушения обе порции горной массы помещались в отдельные камеры мельницы (рис. 2) и измельчались в течении 20 минут. Затем опять производился ситовый анализ продуктов измельчения. Готовый продукт (класс -0,15мм) отправлялся на анализ в специализированную лабораторию для определения содержания основного полезного ископаемого – меди.



Рис. 1. Магнитно-индукционный импульсный ударный механизм:
1 - корпус ударника; 2- рабочая часть ударника; 3- кусок горной породы;
4 – рама установки



Рис. 2. Опытно-промышленная мельница:
1- корпус мельницы; 2- подшипниковая опора; 3- червячный редуктор; 4- клиноременная передача, 5 – двигатель постоянного тока

По своим конструктивным и технологическим характеристикам параметры этой мельницы превышают в два раза параметры лабораторных мельниц, табл.1.

Шаровая мельница имеет две дробильные камеры. Разгрузка, а также загрузка руды и шаров производится через люк, расположенный на цилиндрической поверхности мельницы. Мельница может работать с различной угловой скоростью, которая регулируется при помощи двигателя постоянного тока.

При экспериментах замерялись: время(t), величина тока (I) в якорной цепи и шунтовой обмотке, величина напряжения(U), средний расход энергии (по ваттметру) и величину выхода готового продукта за определенное время. При измерениях использовались соответствующие средства измерения, которые были проверены и тарированы в установленном порядке.

Для замера тока последовательно с обмоткой включался шунт (75 мВ), с которого подавался сигнал на осциллограф С1-68.

Таблица 1 - Техническая характеристика шаровой мельницы МШ-600

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Внутренний диаметр барабана D, мм	600
2	Длина одной камеры барабана L, мм	260
3	Номинальный объем барабана V, дм ³ , ±5%	54
4	Номинальная частота вращения барабана, % от критической	70-75
5	Степень заполнения барабана мелющими телами, %, не более	35
6	Мощность электродвигателя привода, кВт, не более	1,5
7	Габаритные размеры мельницы в сборе с приводом, мм, не более: длина ширина высота	1500 800 1200
8	Масса мельницы без мелющих тел, кг, не более	670

Напряжение в якорной цепи и шунтовой обмотке замерялось при помощи вольтметра. Фракционный состав руды перед и после измельчения определялся при помощи стандартных сит. Масса шаровой нагрузки определялась путем взвешивания каждого шара на аналитических весах. Класс точности измерительных средств был первый и второй.

Согласно общепринятым нормам, объем шаровой нагрузки составлял 35 % от объема камеры измельчения. Крупность исходной руды составляла -40+20 мм. Масса шаров в пять раз превышала массу руды, что принято в практике измельчения. Угловая скорость вращения барабана принималась равной 0,8 от критической, которая составляла для мельницы

$$\omega_{кр} = (0,75g/r)^{0,5} = (0,75 \cdot g/0,3)^{0,5} \approx 4,9 \text{ рад/с} \quad (1)$$

где r – внутренний радиус мельницы, м; g – ускорение свободного падения, м/с².

Скорость вращения барабана ($n \approx 47$ об/мин) обеспечивала один из эффективных для этой руды водопадный режим движения шаров.

В табл. 2 приведены результаты определения фракционного состава забалансовой руды до и после измельчения.

Предварительно нами были определены затраты энергии на холостой ход мельницы с шарами, без шаров, с рудой и шарами. В результате испытаний установлено, что уровень потребления мельницей определяется главным образом величиной шаровой нагрузки. Так как обе порции горной массы были одинаковы и одновременно измельчались в двухкамерной мельнице, то затраты энергии на измельчение каждой части можно принять одинаковыми. Поэтому, оценку эффективности электрообработки забалансовой руды можно производить по выходу мелких и крупных классов. Данные таблицы показывают, что электрообработка горной массы приводит к существенному возрастанию выхода мелких классов, в кото-

рых, как правило, находятся сульфиды. В частности, выход класса -0,15 мм возрос на 18,4%, а выход класса +5мм сократился на 28,3%.

Таблица 2 - Гранулометрический состав забалансовой медно-цинковой руды Молодежного месторождения

№	Класс, мм	Содержание класса до измельчения, %	Содержание класса после измельчения, %	Содержание класса до измельчения, %	Содержание класса после измельчения, %
1		Электрообработанная		Необработанная	
2	+20	14,9	8,0	31,0	22,7
3	-20+10	33,6	20,8	35,2	24,6
4	-10+5	21,5	8,5	6,3	8,3
5	-5+2	11,9	2,2	8,0	2,8
6	-2+1	5,6	0,9	3,8	1,1
7	-1+0,5	4,7	1,0	2,5	1,4
8	-0,5+0,25	3,6	2,2	1,2	2,5
9	-0,25+0,15	0,9	6,5	0,5	6,3
10	-0,15	3,3	49,9	1,5	31,5

В таблице 3. приведены результаты эксперимента по измельчению электрообработанной и необработанной бедной сульфидной руды.

Таблица 3 - Результаты эксперимента по измельчению сульфидной руды

№	Ток, А	Напряжение, В	Выход готового продукта, кг	Полезная мощность, Вт	Время измельчения, мин.	Средний размер кусков, мм	Индекс работы по Бонду, кВт*ч/т	Примечание
1	11	84	2,59	140	20	10,4	18,0	Руда электрообработанная
2	11	84	2,1	140	20	13,6	22,2	Руда не электрообработанная
3	10,5	84	0,46	110	15	-40мм	59,8	Руда электрообработанная
4	5,5	120		660				Холостой ход

Данные таблицы 3. показывают, что энергоемкость процесса измельчения электрообработанной руды практически на 20% меньше, чем не электрообработанной. Увеличение начальной крупности продукта (третья строка таблицы) существенно повышает индекс работы по Бонду [6], что свидетельствует о неправильном для данной мельницы выборе размеров исходного питания. Повышение производительности мельницы за счет увеличения выхода готового продукта при одинаковом времени работы свидетельствует о эффективности электрообработки бедной сульфидной руды.

Определены суммарные затраты (E_c) энергии на сортировку (грохочение (E_r) и электрообработку (E_o)), дробление (E_y/m) и измельчение забалансовой медноцинковой руды ($E_{изм}$):

$$E_c = E_r + E_o + E_y/m + E_{изм}$$

В качестве критерия удаления куса породы в хвосты было принято минимальное (граничное) содержание сульфидов, которое определяет напряжение на электродах необходимое для пробоа.

Результаты расчетов в виде графика приведены на рис.3.

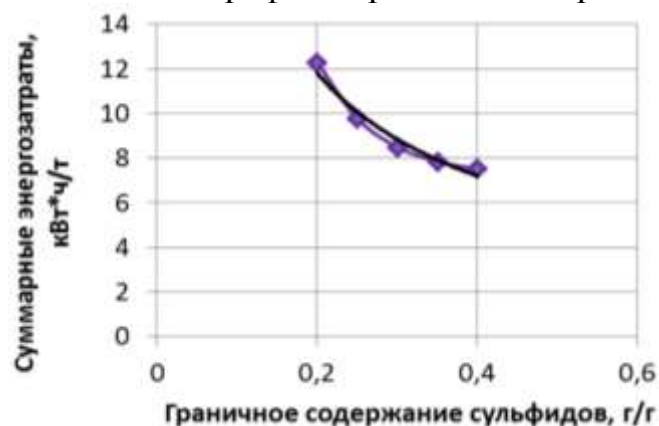


Рис. 3. Зависимость суммарных энергозатрат от граничного содержания сульфидов

Корреляционное отношение, равное $R^2 = 0,96$ [9], свидетельствует о наличии существенной связи суммарных энергозатрат на сортировку, дробление и измельчение с граничным содержанием сульфидов.

Статистическая зависимость суммарных энергозатрат (E_c , кВт*ч/т) на грохочение, электрообработку, дробление и измельчение бедной сульфидной руды имеет вид:

$$E_c = 3,74 * [\alpha]^{-0,715} \quad (2)$$

где $[\alpha]$ – граничное (допустимое) содержание сульфидов, г/г.

Расчеты показывают, что при выборе граничного содержания меньше 0,2 г/г суммарные энергозатраты возрастают до такого уровня, что данный способ сортировки теряет преимущества перед радиорезонансным способом предварительного разделения.

При прочих равных условиях, снижение времени измельчения руды за счет её разупрочнения, позволяет пропорционально увеличению выхода мелких классов уменьшить расход мелющих тел. После проведения испытаний, измельченный продукт был отдан на химический анализ). В результате анализа установлено, что содержание меди в электрообработанной руде в 4,1 раза больше, чем в необработанной.

Особенности взаимодействия рабочих органов (рис. 2) мельницы с частицами абразива определяются физико-механическими свойствами системы: горная порода - частица абразива – металл. Нами установлено что в мельнице происходит износ футеровок и мелющих тел, так как в пробе измельченной руды появился металл [9].

Выводы

Относительно тесная связь содержания сульфидов с электрической проводимостью (корреляционное отношение близко к единице) позволяет с достаточной степенью точности установить их границу, по которой можно удалять в хвосты пустую породу.

Оценку эффективности процесса разрушения кусков сульфидной руды целесообразно производить по отношению удельной энергии к степени дробления. Она уменьшается с увеличением среднего диаметра куска.

Электрическая сортировка бедной сульфидной руды приводит к удалению в хвосты пустой породы, уменьшению относительной энергии разрушения в 1,3 раза и соответствующему снижению непроизводительных затрат энергии на дробление.

Электрообработка позволяет увеличить выход мелких классов и, соответственно, вскрытие вкраплений сульфидов, что в дальнейшем позволит повысить извлечение полезных ископаемых. Величина напряжения пробоя для забалансовых медно-цинковых руд должна быть 8...9 кВ, что обеспечит надежное выделение класса -80 +20 мм.

Список литературы

- 1 Гончаров С.А. Физико-технические основы ресурсосбережения при разрушении горных пород. - М.: Изд-во Московского государственного горного университета - 2007. -211 с.
- 2.Гольдин М.Л. «Контроль и автоматизация процессов дробления и измельчения руд» М.: Атомиздат. 1971. 388с.
- 3.Баранов В.Ф. Обзор мировых достижений и проектов рудоподготовки новейших зарубежных фабрик. - М.
5. Ревнивцев В.И. Современные направления совершенствования развития рудоподготовки. - Совершенствование рудоподготовки, Ленинград, 1980, с. 3-7. |
4. Тангаев И.А. Энергоемкость процессов добычи и переработки полезных ископаемых.- М.: Недра, 1986.-231с.
5. Афанасьев А.И., Костенчук С.Ф., Чиркова А.А. Исследование энергоемкости рабочего процесса импульсного двигателя в приводе рабочего органа горной машины // Известия ВУЗов. Горный журнал.- 2006.- № 1 С.110-115.
- 6.Ржевский В.В., Протасов Ю.И. Электрическое разрушения горных пород. М.: Недра.1972. 205 с.
7. Емелин М.А., Морозов В.Н., Новиков Н.П. Новые методы разрушения горных пород: Учебное пособие для Вузов. М.: Недра, 1990, 240с.
8. Энергоемкость ударного разрушения бедных медно-цинковых руд / А. И. Афанасьев, Д. С. Стожков, В. Я. Потапов, В. В. Потапов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. № 10. С. 25-29.
9. Электротермическая сортировка забалансовых сульфидных руд / А. И. Афанасьев, В. Я. Потапов, В. В. Потапов, Д. С. Стожков // Информационные технологии обогащения минерального и техногенного сырья: Материалы научно-технической конференции. Екатеринбург, 2017. С. 72 – 74.

УДК :622.7:622.367.6
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ АСБЕСТОВЫХ ЧАСТИЦ
В БАРАБАННЫХ ГРОХОТАХ

Потапов В.Я., проф., **Волков Е.Б.,** доц., **Потапов В.В.,** доц.,
Трутьев П.В., асс., **Соколов Р.В.,** асс.

Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

Рассмотрены операции для формирования задач разработки и проектирования конструкции барабанных грохотов для классификации текстильных асбестовых концентратов. Наличие внутри барабана рабочего органа, с помощью которого материал разрыхляется и перемещается по ситовой поверхности, что повышает эффективность разделения и требует изучения процесса разделения текстильных асбестовых концентратов на ситовой поверхности. Для изучения элементарных операций, происходящих в барабанных грохотах, разработана и изготовлена специальная установка, позволяющая осуществлять отдельные операции: просеивание через сетку при сдвиге лопатками слоя материала., дезинтеграцию с помощью колков - процесс способствует разрушению агрегатов асбестовых волокон. Изложена методика проведения опытов. Приведены результаты испытаний асбеста сортовых групп III, V.

Ключевые слова: асбест, барабанный грохот, операции просеивания, методика, лопатки, колки, дискретная модель классификатора, результаты.

STUDY OF ASBESTOS PARTICLES BEHAVIOUR IN TROMMEL SCREENS

Potapov V.Ya., Volkov E.B., Potapov V.V., Trutiev P.V., Sokolov R.V.

The article considers the operations for forming the problems of development and design of drum screens for classification of textile asbestos concentrates. The presence inside the drum of the working body, with the help of which the material is loosened and moved on the sieve surface, increases the efficiency of separation requires the study of the efficiency of the process of separation of textile asbestos concentrates on the sieve surface. To study elementary operations occurring in trommel screens, a special installation has been developed and manufactured. Allowing to carry out separate operations: sieving through a grid at shearing by blades of a layer of material, disintegration by means of stakes - the process promotes destruction of aggregates of asbestos fibres. The technique of carrying out of experiments is stated. Also in article results of tests for several sorts of asbestos (asbestos of III, V groups) are resulted.

Keywords: asbestos, trommel screen, screening operations, methodology, blades, cones, discrete model of classifier, results.

Особый интерес представляют конструкции аппаратов, где процесс разделения происходит на вертикальной цилиндрической ситовой поверхности под действием центробежной силы и воздуха. Наличие внутри барабана рабочего органа, с помощью которого материал разрыхляется и перемещается по ситовой поверхности, повышает эффективность разделения.

Анализ состояния теории и техники процессов очистки волокнистых материалов, сортировки различных продуктов, позволяют заключить о необходимости проведения исследований по определению сравнительной эффективности текстильных асбестовых агрегатов на горизонтальной и вертикальной цилиндрической ситовой поверхности, на которой продукт будет интенсивно разрыхляться с помощью рабочего органа.

Использование в качестве основного фактора разделения центробежные силы, величину которой можно регулировать в широком диапазоне,

открывает большие возможности интенсификации и ускорения процесса классификации черновых асбестовых концентратов,

Однако в литературе и практике обогащения руд хризотил-асбеста - отсутствуют сведения, необходимые для научно обоснованного аппарата для классификации текстильных асбестовых концентратов, не изучено влияние геометрии рабочей поверхности, кинематических режимов, обеспечивающих наибольшую эффективность процесса классификации, нет сведений об изменении физико-механических свойствах волокна готового сорта в процессе классификации,

Исходя из вышеизложенного, основными задачами настоящей работы являются следующие:

- изучение эффективности процесса разделения текстильных асбестовых концентратов на ситовой поверхности;
- разработка конструкции аппарата для изучения элементарных операций, происходящих в барабанных грохотах;
- экспериментальные исследования аппарата для классификации текстильных асбестовых концентратов.

Для изучения элементарных операций, происходящих в барабанных грохотах, разработана и изготовлена специальная установка (рис. 1). Методика проведения опытов заключалась в следующем. Исходный материал (асбест III, V групп) загружался на сетку 1 в зоне II (рис. 1). Радиальный держатель 2 устанавливался в верхнее положение и закреплялся стопорным механизмом. Далее осуществлялся взвод пружины приводного механизма путем поворота храповика. От количества оборотов храповика зависит линейная скорость движения радиального держателя с колками 3 и лопатками 4 относительно просеивающей поверхности.

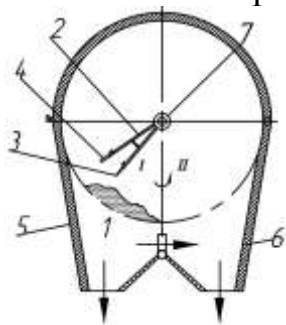


Рис. 1 – Дискретная модель классификатора

После взвода приводной пружины освобождался стопорный механизм, и радиальный держатель осуществлял один оборот вокруг оси. При этом колки и лопатки проходили через слой исходного материала, имитируя элементарный однократный акт классификации в барабанном грохоте. Подрешетные продукты собирались в приемниках 5 и 6 и подвергались анализу.

Частота вращения вала 7 измерена тахометром и далее пересчитана на линейную скорость движения лопаток относительно просеивающей поверхности.

Рассмотрим элементарные процессы классификации, реализуемые в установке.

1. Просеивание через сетку при сдвиге лопатками слоя материала. Данный процесс протекает в зоне I (рис. 1) в момент прохождения лопатки через материал. Подрешетный продукт данной зоны дает в приемник 5.

2. Наброс материала на просеивающую поверхность (с учетом стратификации волокна при движении по лопатке). Наброс происходит при большой скорости движения ротора, когда лопатки захватывают материал из зоны I и набрасывают его на просеивающую поверхность. Этот процесс протекает в зоне II. Подрешетный продукт попадает в приемни 5.

3. Свободное падение материала на просеивающую поверхность. Данный процесс в установке не присутствует, но потенциально реализуем в барабанных классификаторах.

4. Дезинтеграция с помощью колков. Процесс способствует разрушению агрегатов асбестовых волокон перед их взаимодействием с лопатками и сеткой, т.е. это процесс подготовки исходного продукта перед классификацией. Дезинтеграция осуществлялась путем установки колков 3 перед лопатками 4. Подрешетные продукты собираются в приемниках 5 и 6.

5. Ворошение материала лопатками. Ворошение происходит при малой скорости движения ротора с лопатками, когда центробежные силы малы и лопатки не набрасывают материал на просеивающую поверхность, а лишь перемещают вдоль нее. В установке этот процесс моделируется путем перемещения радиального держателя с лопатками относительно просеивающей поверхности с малой скоростью (60 мин^{-1} или $1,26 \text{ м/с}$).

Таблица 1. - Влияние скорости движения лопатки $v_{\text{л}}$ и зазора между сеткой и лопаткой на результаты классификации

Группа асбеста	d , мм	$v_{л}$, м/с	b , мм	Выход подрешетного продукта	
				Зона I	Зона II
Опыт с колками					
V	2,8	9,80	25	1,30	1,93
	-	13,75	-	1,54	2,21
	-	15,30	-	1,74	2,69
III	3,2	9,80	25	0,61	0,89
	-	13,75	-	0,96	1,25
	-	15,30	-	0,98	1,78
Опыт с лопатками					
V	2,8	12	10	1,75	5,25
	-	-	15	1,70	2,35
	-	-	25	1,43	1,96
III	3,2	12	10	0,81	0,99
	-	-	15	0,54	0,95
	-	-	25	0,51	0,85
Опыт с лопатками и колками					
V	2,8	12	10	1,80	2,98
	-	-	15	1,62	2,42
	-	-	25	0,94	2,07
III	3,2	12	10	0,87	1,20
	-	-	15	0,54	1,07
	-	-	25	0,45	0,99

Остановимся на процессах сдвига и наброса материала и оценки влияния использования колков в аппарате. Кроме того, рассмотрим влия-

ние количества циклов взаимодействия лопатки с классифицирующим материалом, т.е. продолжительности нахождения материала в аппарате, на выход подрешетного продукта.

Таблица 2. - Результаты анализа исходного и подрешётного продуктов по зонам просеивания

Продукт	Скорость, м/с	Массовая доля класса *(волокна в классе **) по контрольному аппарату, %					Массовая доля класса по гидроклассификатору, %		
		d>12,7 мм	4,8<d<12,7	1,35<d<4,8	0,4<d<1,35	d<0,4 мм	d>1,0 мм	d>0,14 мм	d<0,14 мм
Асбест III группы									
Исходный	-	1,0/100,0	41,2/100	19,7/99,0	9,6/94,8	28,5	22,5	22,4	55,1
I зоны	9,8	-	-	18,0/55,6	25,0/68,0	57,0	2,1	37,3	60,0
II зоны	-	-	-	18,0/50,0	24,0/70,8	58,0	1,5	34,3	64,1
I зоны	12,0	-	-	13,0/84,6	21,0/80,9	66,0	1,2	32,6	66,2
II зоны	-	-	-	14,0/85,7	20,0/70,0	66,0	1,0	31,0	68,0
I зоны	15,0	-	-	15,0/100,0	19,0/78,9	66,0	1,2	33,7	65,1
II зоны	-	-	-	13,5/85,2	22,0/77,3	64,5	1,0	32,0	67,0
Асбест V группы									
Продукт	Скорость, м/с	Массовая доля класса (волокна в классе) по контрольному аппарату, %				Массовая доля класса по гидроклассификатору, %			
		d>4,8 мм	1,35<d<4,8	0,4<d<1,35	d<0,4 мм	d>1,0 мм	d>0,14 мм	d<0,14 мм	
Исходный	-	0,2/100,0	27,3/76,9	37,2/66,4	35,3	1,2	24,30	74,50	
I зоны	9,8	-	11,0/18,2	57,0/40,4	32,0	0,04	25,10	74,86	
II зоны	-	-	5,0/25,0	52,0/38,5	43,0	0,04	25,20	74,76	
I зоны	12,0	-	9,0/44,4	57,0/50,9	34,0	0,08	24,92	75,00	
II зоны	-	-	7,5/53,3	48,5/47,4	44,0	0,08	24,00	75,92	
I зоны	15,0	-	5,0/40,0	59,0/59,3	36,0	0,04	23,76	76,20	
II зоны	-	-	11,0/54,5	44,0/48,3	45,0	0,004	22,10	77,86	

Суть эксперимента заключалась в следующем: исходный материал загружался в зону I, далее радиальный держатель с лопатками совершал один оборот. При этом оценивался выход подрешетного продукта по отношению к исходному. После этого оставшийся надрешетный продукт возвращался на прежнее место и радиальный держатель с лопатками вновь совершал оборот, затем осуществлялась оценка выхода подрешетного продукта по отношению к исходному и т.д. Во время проведения опытов фиксировался зазор между просеивающей поверхностью и краем лопатки. Высота слоя материала во всех опытах в два раза больше этого зазора. Резуль-

таты опытов приведены в табл. 1 и 2. На рис. 2 приведены зависимости выхода подрешетного продукта от количества циклов взаимодействия лопаток с материалом.

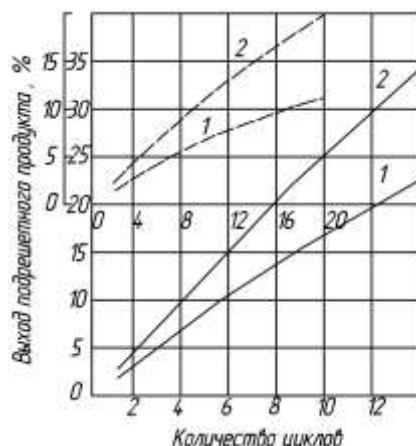


Рис. 2 – Влияние количества циклов взаимодействия лопаток с материалом на выход подрешетного продукта для асбеста V (а) и III (б) групп: 1 – зона I, 2 – зона II

На основании анализа данных экспериментов на дискретной модели классификатора можно сделать выводы, которые могут быть использованы при проектировании новых аппаратов.

Выводы:

1. Наброс материала на сетку значительно эффективней, чем сдвиг материала лопатками (по выходу подрешетного продукта и выделению в него фракций менее 0,4 и 0,14 мм). Это требует создания условий для реализации преимущественно элементарных операций наброса в проектируемых аппаратах.

2. С увеличением скорости вращения ротора (лопаток) повышается выход подрешетного продукта, причем прирост его при набросе значительно выше, чем при сдвиге.

Также при увеличении скорости в подрешетном продукте увеличивается массовая доля фракций менее 0,4 и 0,14 мм. Практически это означает допустимость уменьшения габаритов аппарата при повышении его динамичности.

3. Уменьшение зазора между лопаткой и сеткой приводит к повышению интенсивности процесса просеивания материала, более сильно эта закономерность проявляется для асбеста у группы.

4. Предварительная дезинтеграция материала с помощью колков несколько повышает вероятность просеивания для асбеста III группы. Для асбеста V группы применение колков не дает эффекта, более того, в зоне сдвига оно способствует снижению выхода подрешетного продукта при скорости 12 м/с. Это можно объяснить тем, что асбестовое волокно III группы представляет собой прочные и относительно крупные агрегаты, которые разрушаются колками перед классификацией, что повышает ее эффективность. Волокна V группы создают менее прочные и мелкие агрегаты и дезинтеграция колками не дает эффекта, т. к. либо размер колков слишком велик для разрушения агрегатов, либо крупность имеющихся

прочных агрегатов волокон V группы меньше размера сетки 2,8 мм. Таким образом, введение в конструкцию колков целесообразно в аппаратах для классификации длинноволокнистого асбеста.

5. С увеличением крупности отверстий сетки для обеих зон повышается выход подрешетного продукта. Причем при изменении отверстий сетки от 1 до 5 мм выход подрешетного продукта возрастет в большей степени для асбеста У группы, чем для асбеста III группы, что, вероятно, связано с меньшими силами сцепления агрегатов асбеста V группы.

6. Увеличение количества циклов взаимодействия рабочих органов классификатора с материалом приводит к снижению выхода подрешетного продукта в каждом цикле. Это объясняется тем, что количество материала, который теоретически может пройти через сетку, уменьшается с каждым циклом взаимодействия.

7. Массовая доля различных классов крупности в подрешетном продукте значительно не различается для I и II зон для асбеста III группы. Для асбеста V группы более мелкие классы активнее просеиваются в зоне II, чем в зоне I.

Список литературы

1. Практика обогащения асбестовых руд. Под ред. Ф. П. Софронова. М., «Недра» 1975. 224 с. Авт.: М. А. Белов, Н. В. Дябин, Ю. Б. Копосов и др.
2. Половнев Б.А. Моделирование процесса разделения асбестовых концентратов текстильных сортов на вертикальной цилиндрической ситовой поверхности. -Науч. труды /ВНИИпроектасбест, Асбест, 1979, вып.21с.82-93.
3. Половнев Б.А. Определение вероятности прохождения иголки асбеста через отверстие сита. -Науч. труды /ВНИИпроектасбест, Асбест, 1978, вып.20 с. 60-69.
4. Поиск и разработка оптимальных схем классификации асбестовых концентратов на основе нового оборудования для повышения экономичности технологических процессов: Отчет / рег. № 4095 / ВНИИпроектасбест: Е. Ф. Цыпин, В. Я. Потапов, А. Е. Пелевин, В. А. Шалюгина. – Асбест, 1992.– 189 С.
5. Поиск способов и технических решений для разработки конструкций обогащательных аппаратов, основанных на новых принципах: Отчет / инв. № 3842 / ВНИИпроектасбест: В. В. Иванов, Е. Ф. Цыпин, В. Я. Потапов, А. Е. Пелевин, В. Ф. Бердяев, З. П. Булатова, В. В. Умнова, И. Г. Грибова - Асбест, 1992. – 156 с.

УДК 622.79

МОДЕРНИЗАЦИЯ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ ДЛЯ АО «АМУРЗОЛОТО»

Червяков С.А., канд.техн. наук

Общество с ограниченной ответственностью СГИ (г. Екатеринбург, РФ)

chervyakov@crumin.ru

Модернизация традиционных мельниц предполагает, при сохранении диаметра мельницы, удлинение ее барабана, т. е. увеличение рабочего объема. Увеличение рабочего объема обеспечивает рост производительности. Производительность мельницы прямо пропорциональна рабочему объему при прочих постоянных условиях (величина источника питания, скорость вращения барабана, физико-механические свойства обрабатываемого материала).

Ключевые слова: мельница, рабочий объем, производительность, условия.

MODERNIZATION OF A BALL MILL FOR JSC "AMURZOLOTO"

Chervyakov S.A.

The modernization of traditional mills suggests, while maintaining the diameter of the mill, the elongation of her drum, i.e., the increase in the working volume. The increase in working volume ensures productivity growth. The productivity of the mill is directly proportional to the working volume under other constant conditions (the size of the power supply, the speed of the drum, the physical and mechanical properties of the processed material).

Keywords: mill, working volume, productivity, conditions

Имея избыточные мощности по дроблению и нарастив мощности по выщелачиванию, у ООО Амурзолото возникла проблема увеличения переработки на стадии измельчения. В работе на этом участке две шаровых мельницы МШР-2100х3000. Классификация продуктов измельчения производится в гидроциклонах. Строительство нового измельчительного отделения исключалась. Необходимо было найти решение увеличения производительности, не изменяя размеров технологических мест.



Рис. 1. Мельница МШР-2100х3000
в цехе Юбилейной ЗИФ



Рис. 2. Монтаж мельницы Crumin
МШР-2100х4000

Готовность ООО СГИ к решению проблемы ООО Амурзолото.

ООО СГИ в 2018 году реализовало проект модернизации шаровой мельницы МШР-2700х2100 в мельницу большего рабочего объема Crumlin МШР-2700х4000 с целью увеличения переработки на стадии измельчения на Жолумбетской ЗИФ АО «ГМК «Казахалтын».

По итогам работ после пуска модернизированной мельницы была получена производительность в 2 раза выше производительности по питанию базовой мельницы.

В мае 2018 года был подписан договор на модернизацию, а в ноябре этого же года мельница была смонтирована и запущена в эксплуатацию. Время монтажа не превысило 10 рабочих дней.

Поскольку мельница работала в паре со спиральным классификатором, то для нормального сопряжения пескового желоба с приемным зумпфом мельницы была выполнена подрезка фундаментных тумб под опорные подшипники мельницы, сохраняющая положение оси мельницы. Впервые примененная опора на барабан в виде четырехсегментного подшипника скольжения вместо опоры на цапфы с традиционным подшипником скольжения с одним вкладышем заработала сразу, не потребовав доводки. Для контроля за состоянием сегментов опоры разработана система контроля температур с дисплеем, показывающим рабочую температуру каждого сегмента. Система смазки двухпоточная с независимой подачей масла на опоры.

Анализируя итоги модернизации, был сделан вывод, что при классификации продукта измельчения в гидроциклонах необходимости в подрезке фундамента нет.

Таким и стало предложение по модернизации для Амурзолота: опора на барабан, сохранение фундамента, крепление «родными» анкерными болтами, соответственно укороченными.

Сроки работ по договору

Договор на модернизацию был подписан 27.08.2023 года, по которому работы на ЗИФ «Юбилейная» (ближайшие населенные пункты - посёлок Аим в 125 км к северо-востоку, а на восток - поселок Джигда в 115 км и поселок Нелькан в 130 км) предполагалось завершить в декабре 2023 года.

Однако в связи с решением заказчика по доставке грузов по реке Алдан, ледостав на которой ожидался в середине октября, была предпринята попытка изготовления в более сжатые сроки. Случившийся, ранее обычно, ледостав оставил единственный вариант транспортировки по зимнику, что и было выполнено в феврале - марте 2024 года. В мае 2024 года был выполнен монтаж машины и запуск в работу.

Конструктивные особенности модернизированной мельницы

Модернизированная мельница Crumlin МШР2100х3000 вместо крышек с цапфами оснащена загрузочной и разгрузочной царгами с бандажами, опирающимися на сегментные подшипники.

Вместо демонтированных подшипников с одним вкладышем и фундаментных плит установлены фундаментные плиты с сегментными под-

шипниками, при этом сохранена сетка фундаментных болтов, а сами фундаментные болты укорочены.

Система смазки подшипников двухконтурная с независимой подачей масла в каждый подшипник, с сегменты оснащены термодатчиками, показания которых выведены на дисплей системы контроля температур.



Рис. 3. Монтаж модернизированной мельницы Crutim МШР-2100х5000



Рис. 4. Дисплей системы контроля температур

Основные результаты

А). Выполненная модернизация мельницы МШР-2100х3000 подтвердила расчетные параметры по производительности по исходному питанию.

Б). При классификации продукта измельчения в гидроциклонах нет необходимости в подрезке фундамента что удешевляет проект и сокращает сроки его реализации.

В). Схема с сегментным подшипником скольжения при опоре на барабан работоспособна.

Г). Реализованные технические решения готовы к тиражированию на различных размерах шаровых и стержневых мельниц для различных заказчиков, занятых переработкой золотосодержащей, железной, медной и других видов руд.

УДК 622.79

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ЩЕКОВЫХ ДРОБИЛОК

Майоров С.А., канд. техн. наук, Шпанькова Д.О., аспирант

¹Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, РФ

Представлены результаты экспериментального анализа по гранулометрическому составу лабораторных щековых дробилок. Приведены графики зависимости характеристики материала и конструкции дробящих плит.

Ключевые слова: дробление, щековая дробилка, крупность, дробящая плита.

INVESTIGATION OF THE EFFICIENCY OF LABORATORY JAW CRUSHERS

S.A. Mayorov, D.O. Shpankova

The article presents the results of an experimental analysis of the granulometric composition of laboratory jaw crushers. Graphs of the dependence of the material characteristics and the design of crushing plates are given.

Key words: crushing, jaw crusher, size, crushing plate.

Мобильные лаборатории играют важную роль в эффективной организации геологоразведочных работ в удаленных районах. Их наличие в непосредственной близости от участка геологических работ позволяет сократить издержки на транспортировку проб на лабораторные исследования.

Лабораторные щековые дробилки играют важную роль в процессе дробления материалов для проведения различных исследований в области горной и строительной промышленности. Благодаря своей надежности, простоте конструкции, они нашли широкое применение в лабораториях для анализа грансостава минералов, оценки физико-механических свойств материалов и разработки технологий обработки руд и полезных ископаемых [1-3]

В связи с вышеизложенным, имеет смысл исследовать лабораторные щековые дробилки более подробно.

В рамках исследования проведен эксперимент с двумя лабораторными щековыми дробилками разных производителей Свитич-3 и ЩД 10 М. Характеристики дробилок практически идентичны. Отличие этих дробилок состоит в том, что в одной из них используется прямая пластина износа, а в другой более распространенная, с рифлением. Анализ при работе с грансоставом поможет определить какая из щек обладает лучшими характеристиками для лабораторной щековой дробилки. Имеет смысл проанализировать отличия характеристик при работе щековой дробилки с обоими вариантами щек.

В качестве материала для исследования было выбрано 3 вида руды. Условно они были разделены на твердые руды –гранит, твердость по Моосу 7-6; средней твердости – мрамор, твердость по Моосу 3-4; мягкие руды – известняк, твердость по Моосу 3. Максимально загружаемые куски материала в дробилку Ø 70 мм, материал поступает в виде гравийной смеси 0...50 мм. Масса загружаемого материала 850 гр. Разгрузочная щель принята равной 4 мм.

Проведен ряд опытов «по плюсу» и «по минусу». Для каждой дробилки проведено три опыта с разными материалами для каждого.

Полученные данные занесены в таблицы (табл.1 и табл. 2), по которой построен график (рис.1.), где на оси абсцисс отложена крупность продукта в долях выходного отверстия, а по оси ординат процентное содержание фракции в породе.

Неуказанные единицы измерения в таблицах 1, 2, 3 и 4, приведены в долях ширины разгрузочной щели дробилки.

Таблица 1 – Свитич 3 опыт «по плюсу»

Масса, гр	Суммарный выход	Крупность известняка	Крупность мрамора	Крупность гранита	Размер фракции, мм
16,15	98,1-100	0,01	0,011	0,011	0-0,05
146,2	79,1-80,9	0,24	0,37	0,51	0,05-0,071
115,6	63,6-67,3	0,33	0,53	0,74	0,071-0,3
260,95	34,16-36,6	0,6	0,79	0,92	0,3-1
147,9	18,1-19,2	0,83	1,1	1,29	1-3
133,45	3,4-3,5	1,3	1,41	1,59	3-4
29,75	0	1,39	1,54	1,7	4

Таблица 2 - Свитич 3 опыт «по минусу»

Масса, гр	Суммарный выход	Крупность известняка	Крупность мрамора	Крупность гранита	Размер фракции, мм
29,75	96,5-100	1,85	1,94	1,99	0-0,05
133,45	79,1-80,1	1,3	1,46	1,67	0,05-0,071
147,9	61-63,4	1,09	1,13	1,41	0,071-0,3
260,95	30,2-32,7	0,64	0,75	0,88	0,3-1
115,6	18,1-19,1	0,25	0,33	0,47	1-3
146,2	1,6-1,9	0,091	0,12	0,16	3-4
16,15	0	0	0	0	4

Дальнейшие исследования, в рамках проведения опыта с грансоставом дробилки, перешли к получению данных для построения графика продукта «по плюсу» и «по минусу» дробилки ЩД 10М. Полученные в результате фактического опыта данные приведены в таблицах (табл.3 и табл.4).

Таблица 3 - ЩД 10 М опыт «по плюсу»

Масса, гр	Суммарный выход	Крупность известняка	Крупность мрамора	Крупность гранита	Размер фракции, мм
11,05	98,7-100	0,012	0,013	0,013	0-0,05

136	81,4-82,7	0,28	0,41	0,53	0,05-0,071
107,1	66,2-70,1	0,39	0,58	0,77	0,071-0,3
289	34,4-36,1	0,65	0,83	1,02	0,3-1
125,8	20,2-21,3	0,92	1,17	1,33	1-3
134,3	5,4-5,5	1,33	1,46	1,63	3-4
46,75	0	1,42	1,6	1,82	4

Таблица 4 - ЩД 10 М опыт «по минусу»

Масса, гр	Суммарный выход	Крупность известняка	Крупность мрамора	Крупность гранита	Размер фракции, мм
46,75	94,5-100	1,82	1,88	1,96	0-0,05
134,3	77,4-78,7	1,24	1,43	1,63	0,05-0,071
125,8	60,1-63,9	1,05	1,1	1,42	0,071-0,3
289	27,5-29,9	0,6	0,71	0,84	0,3-1
107,1	16,1-17,3	0,21	0,31	0,42	1-3
136	1,0-1,3	0,08	0,1	0,14	3-4
11,05	0	0	0	0	4

Графическим результатом таблиц 3 и 4, является график рисунка 2.

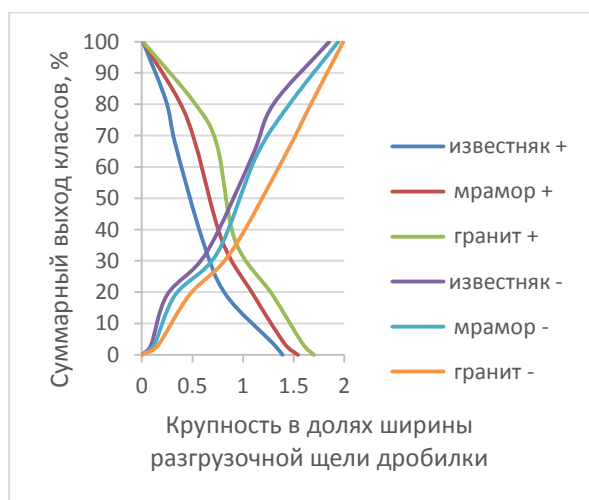


Рис. 1 – Характеристики крупности дробленного продукта щековой дробилки Свитич-3, «по плюсу» и «по минусу».

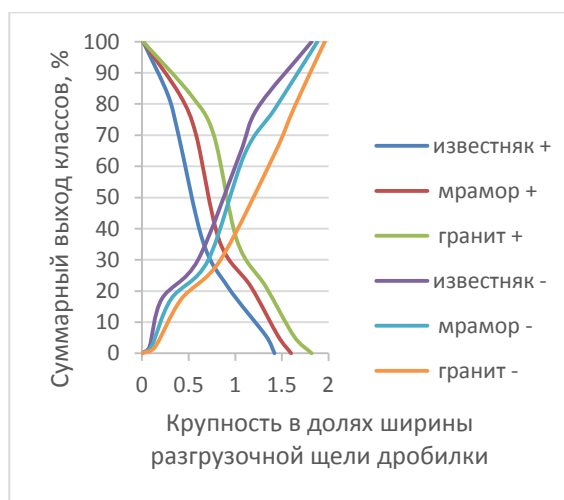


Рис. 2 – Характеристики крупности дробленного продукта ЩД 10М, «по плюсу» и «по минусу».

Совместив графики рисунков «по плюсу» и по «минусу» мы получим конечный результат опыта, а именно графики (рис. 3 и рис.4), на которых видны оптимальные характеристики крупности дробимых пород, в зависимости от твердости.

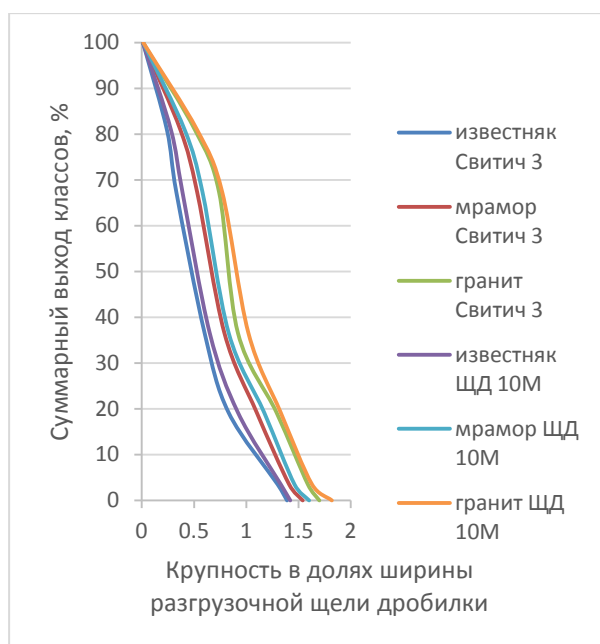


Рис. 3 – Характеристика крупности дробленного продукта щековой дробилки «по плюсу», совмещенный график.

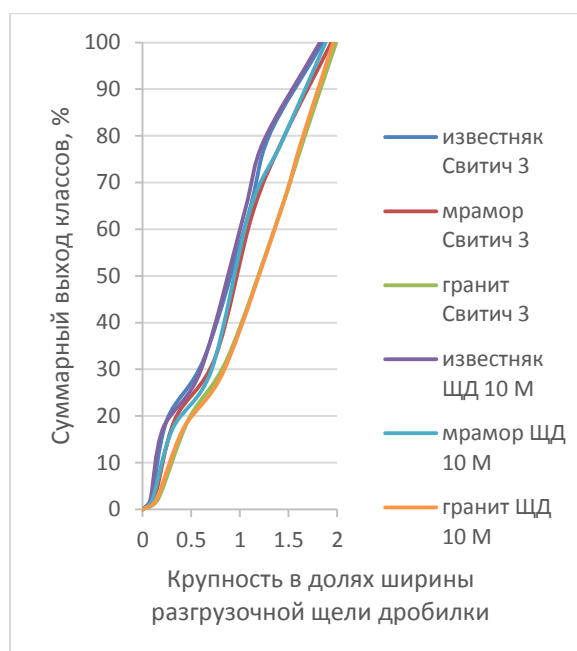


Рис. 4 - Характеристика крупности дробленного продукта щековой дробилки «по минусу», совмещенный график.

Из графиков видно, что для обработки твердых руд наиболее эффективной дробилкой является Свитич 3, для руд средней твердости ЩД 10М. Для мягких руд обе дробилки эффективны одинаково.

Исходя из результатов эксперимента характеристики выбранных дробилок близки. У каждой из них есть свои преимущества и недостатки (табл.5).

Таблица 5 – Преимущества и недостатки дробилок.

Конструкция дробящей плиты	Преимущества	Недостатки
Плоские дробящие плиты	-равномерное дробление материала, -простота в очистке от материала, -есть возможность перевернуть рабочую пластину для увеличения срока службы, -позволяет дробить твердые породы, -обеспечивает максимальное измельчение материала	-долгий процесс дробления больших кусков материала
Рифленые дробящие плиты	-взаимозаменяемы, что увеличивает срок службы, -могут быть повернуты на 180 градусов.	-повышенный износ по сравнению с плоскими

Проведены исследования на грансостав дробилки Свитич 3 и ЩД 10М с плоской и рифленой дробящей плитой соответственно. Полученные графики показали, что характеристики дробилок практически идентичны.

По результатам эксперимента имеет смысл учесть достоинства и недостатки рассмотренных дробящих плит. Разработать новую конструкцию

плиты, которая при учете вышеперечисленного позволит повысить эффективность работы дробилки. В дальнейшем планируется продолжение эксперимента, с новыми конструкциями дробящих плит, для выявления наиболее рациональной и продуктивной. По данным исследований были подобраны следующие конструкции:

- плоская плита с врезанными в поверхность высокопрочными шариками;
- плоская с врезанными в поверхность высокопрочными стержнями.
- рифленая с врезанными элементами рифления из высокопрочной стали.

Список литературы

1. Григорьев М.М. Оборудование «ВИБРОТЕХНИК» для пробоподготовки в мобильных лабораториях. // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. докладов XXI международной конф. «Чтения памяти В.Р. Кубачека». Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2023. с. 145-147.
2. Калянов А.Е., Лагунова Ю.А., Шестаков В.С., Расчет параметров гидрофицированной конусной дробилки// Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело.- 2017 – Т.16 - №1. – С. 73-81.
3. Лагунова Ю. А., Майоров С. А., Боярских Г. А. Статистический анализ напряженно-деформированного состояния подшипника щековой дробилки // Известия Уральского государственного горного университета. 2020. Вып. 2(58). С. 159-171.
4. Лагунова Ю. А., Майоров С. А. Недостатки, возникающие при нарушении технологических условий эксплуатации самоходных дробильных установок // Материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. "Горная и нефтяная электромеханика - 2017", Пермь, 09-12 октября 2017. Пермь: Изд-во ПНИПУ. 2017. С. 67-72

УДК 621.926

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ДРОБИЛЬНО-СОРТИРОВОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ В РОССИИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ РЫНОЧНОЙ КОНЬЮНКТУРЫ

Девяткин Е.А., аспирант,

Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

В статье рассматриваются перспективы развития дробильно-сортировочных комплексов (ДСК) в России в условиях изменяющейся рыночной конъюнктуры, вызванной экономическими и экологическими факторами. Анализируется текущая ситуация на рынке, включая влияние экономической нестабильности и ужесточение экологических норм на спрос и инвестиции в отрасль. Выделяются ключевые направления, способствующие развитию ДСК, такие как внедрение инновационных технологий, акцент на устойчивое развитие, улучшение инфраструктуры и подготовка квалифицированных кадров. Подчеркивается важность адаптации компаний к новым условиям и активного поиска возможностей для роста, что позволит обеспечить конкурентоспособность и эффективность работы дробильно-сортировочных комплексов в будущем.

Ключевые слова: рынок, дробильно-сортировочный комплекс, квалифицированные кадры, эффективность, конкурентоспособность

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF CRUSHING AND SCREENING COMPLEXES IN RUSSIA IN THE CONTEXT OF CHANGING MARKET CONDITIONS

Devyatkin E.A.

The article discusses the prospects for the development of crushing and screening complexes (DSC) in Russia in a changing market environment caused by economic, political and environmental factors. The current market situation is analyzed, including the impact of economic instability and environmental regulations on demand and investment in the industry. The key areas contributing to the development of the DSK are highlighted, such as the introduction of innovative technologies, emphasis on sustainable development, improvement of infrastructure and training of qualified personnel. The importance of companies adapting to new conditions and actively seeking growth opportunities is emphasized, which will ensure the competitiveness and efficiency of crushing and screening complexes in the future.

Keywords: market, crushing and screening complex, qualified personnel, efficiency, competitiveness

Дробильно-сортировочные комплексы (ДСК) играют ключевую роль в горнодобывающей и строительной отраслях, обеспечивая переработку полезных ископаемых и производство строительных материалов. В условиях изменения рыночной конъюнктуры, вызванной экономическими, политическими и экологическими факторами, необходимо рассмотреть перспективы развития ДСК в России.

В последние годы российский рынок дробильно-сортировочного оборудования демонстрирует устойчивый рост, что связано с увеличением объемов добычи полезных ископаемых и строительных работ. Однако, изменения в рыночной конъюнктуре, такие как колебания цен на сырьевые ресурсы, санкции и изменения в законодательстве, оказывают значительное влияние на развитие отрасли.



Рис. 1. ДСК Metso Nordberg (ПАО «Ураласбест»)

Экономическая нестабильность, вызванная международной политической и внутренними экономическими проблемами, приводит к изменению спроса на строительные материалы и, соответственно, на услуги ДСК. В условиях кризиса компании стремятся оптимизировать затраты, что может привести к снижению инвестиций в новое оборудование и технологии [1].

Ужесточение экологических норм и стандартов также влияет на развитие ДСК. Компании должны адаптироваться к новым требованиям, внедряя более экологически чистые технологии и оборудование, что требует дополнительных инвестиций.

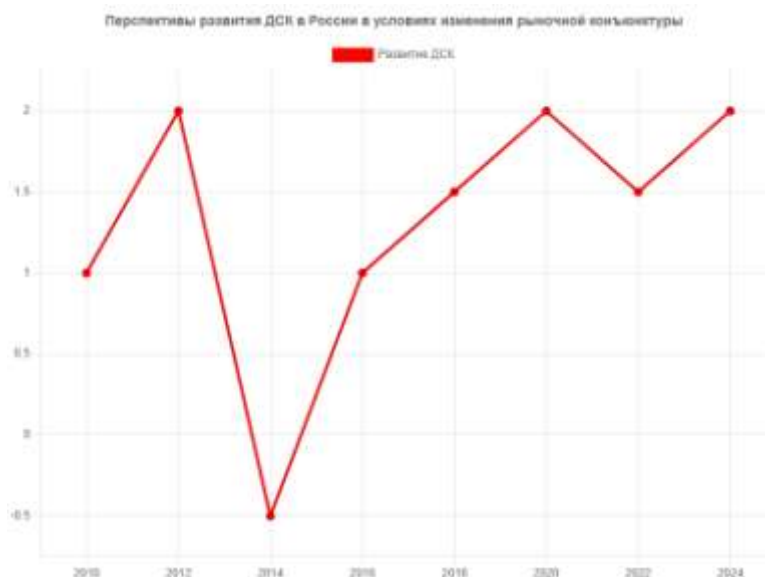


Рис. 2. Шкала развития ДСК в условиях изменения рыночной конъюнктуры

Несмотря на существующие вызовы, рынок дробильно-сортировочного оборудования в России имеет значительный потенциал для роста. Рассмотрим ключевые направления, которые могут способствовать развитию ДСК.

Внедрение новых технологий, таких как автоматизация процессов, использование искусственного интеллекта и машинного обучения, может значительно повысить эффективность работы ДСК. Инновационные решения позволяют оптимизировать процессы дробления и сортировки, снижая затраты и увеличивая производительность.

С учетом экологических требований (табл. 1), компании должны сосредоточиться на устойчивом развитии. Это включает в себя использование вторичных материалов, снижение выбросов и минимизацию воздействия на окружающую среду. Инвестиции в экологически чистые технологии могут стать конкурентным преимуществом на рынке [2].

Таблица 1. Экологические нормы

Показатель	Норма
Выбросы газов	не более 50 мг/м ³
Водоотведение	не более 30 мг/л
Загрязнение почвы	не более 5 мг/кг
Воздействие на фауну и флору	не допустимо
Разрушение природных ландшафтов	не допустимо

Улучшение транспортной и логистической инфраструктуры (табл. 2) в России также будет способствовать развитию ДСК. Эффективная транспортировка сырья и готовой продукции позволяет сократить затраты и повысить конкурентоспособность.

Квалифицированные кадры играют важную роль в успешном функционировании ДСК. Инвестиции в обучение и повышение квалификации

сотрудников помогут обеспечить высокий уровень обслуживания и эксплуатации оборудования [3].

Таблица 2. Пример улучшение транспортной и логистической инфраструктуры

Мероприятие	Описание
Строительство новых дорог	Создание новых дорожных магистралей для обеспечения более эффективной и быстрой транспортной связи
Модернизация существующих дорог	Обновление и расширение существующих дорог для повышения пропускной способности и снижения заторов
Развитие железнодорожной инфраструктуры	Строительство новых и модернизация существующих железнодорожных путей и станций для улучшения грузоперевозок
Развитие портов и аэропортов	Расширение и модернизация портов и аэропортов для обеспечения более эффективной логистики и ускорения грузоперевозок
Введение новых транспортных технологий	Применение новых технологий в сфере транспорта, таких как автономные и электрические транспортные средства, для более экологически чистой и эффективной транспортной системы
Развитие логистической инфраструктуры	Создание современных логистических центров и складов для оптимизации поставок и хранения товаров

Вывод. Перспективы развития дробильно-сортировочных комплексов в России в условиях изменения рыночной конъюнктуры зависят от способности компаний адаптироваться к новым условиям. Внедрение инновационных технологий, внимание к экологическим требованиям, развитие инфраструктуры и подготовка кадров могут стать ключевыми факторами успеха. Важно, чтобы компании не только реагировали на изменения, но и активно искали новые возможности для роста и развития в условиях динамичного рынка.

Список литературы

1. Андреев, Д. В., Руфов И. И. Горное дело - фундамент экономики // Экономика и предпринимательство. — 2022. — № 7. — С. 73-76.
2. Кондратьев В.Б Роль горной промышленности в экономике // Горная промышленность. — 2017. — № 1. — С. 4.
3. Ефремов, Э. И. Экономика региональной горной промышленности / Э. И. Ефремов — 1-е изд.. — Якутск: СВФУ, 2011 — 305 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. Павел Жиганов

УДК 622.276.054

ИССЛЕДОВАНИЕ КАВИТАЦИИ В ЦЕНТРОБЕЖНОМ НАСОСЕ

Белозерова Е.А., магистрант

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень, Россия

Несмотря на их широкое применение и эффективность, центробежные насосы подвержены негативному влиянию кавитации — явления, при котором образование и схлопывание пузырьков в жидкости может привести к повреждению насоса и снижению его производительности. Исследование зон кавитации в центробежных насосах имеет важное значение для оптимизации их конструкции и повышения надежности эксплуатации в различных промышленных условиях.

Ключевые слова: кавитация, центробежные насосы, численное моделирование, ANSYS CFX, производительность насоса, гидродинамика.

INVESTIGATION OF THE CAVITATION IN CENTRIFUGAL PUMP

E.A. Belozerova

Despite their widespread use and efficiency, centrifugal pumps are subject to the negative effects of cavitation, a phenomenon in which the formation and collapse of bubbles in a liquid can lead to pump damage and reduced performance. Studying cavitation zones in centrifugal pumps is important for optimizing their design and increasing operational reliability in various industrial conditions.

Keywords: cavitation, centrifugal pumps, numerical simulation, ANSYS CFX, pump performance, hydrodynamics.

Центробежные насосы являются одним из наиболее распространенных и широко используемых типов насосов в промышленности. Они применяются практически во всех отраслях, включая химическую, пищевую, нефтедобывающую, горнодобывающую, а также коммунальное хозяйство и сельское хозяйство. Эти насосы используются для перекачки различных жидкостей, от чистой воды до агрессивных химических сред и нефтепродуктов. Однако, несмотря на широкое применение и эффективность, центробежные насосы подвержены негативному влиянию кавитации [1].

Кавитация в центробежных насосах представляет собой гидродинамическое явление, возникающее при локальном снижении давления в потоке жидкости ниже давления насыщенных паров, что приводит к образованию пузырьков пара или газа. Эти пузырьки быстро перемещаются с потоком жидкости и схлопываются при вхождении в зоны с более высоким давлением, что вызывает гидравлические удары и выделение тепла. Впоследствии это может нанести значительный ущерб внутренним частям насоса, включая рабочие колеса, корпус и вал, а также вызывать снижение производительности, повышение вибраций и шума, а также эрозию поверхностей.

Кавитация чаще всего возникает на стороне всасывания, когда давление в линии всасывания слишком низкое, что может быть вызвано такими факторами, как высокая высота установки насоса, повышенное гидравлическое сопротивление во всасывающем трубопроводе, пониженное атмосферное давление или высокая температура жидкости. Для предотвращения кавитации важно обеспечить минимально допустимое давление на

входе насоса, соответствующее параметрам NPSH (Net Positive Suction Head), что зависит от типа насоса и условий его эксплуатации [2].

Целью настоящего исследования является определение и анализ зон кавитации в центробежном насосе при различных давлениях на входе с использованием программного комплекса ANSYS CFX. Это исследование направлено на выявление того, как изменения давления на входе в насос влияют на образование и распространение кавитационных зон внутри рабочего колеса.

Для моделирования был выбран центробежный насос с семью лопастями рабочего колеса. Учитывая периодическую симметрию геометрии, достаточно моделировать только один проход лопасти исходного насоса. Это позволяет существенно сократить необходимые вычислительные ресурсы, минимизируя время и затраты на получение решения, при сохранении точности и достоверности результатов.

Моделирование кавитации в центробежном насосе проводится в рамках турбулентного и несжимаемого течения жидкости. Условия моделирования включают:

- скорость вращения насоса: 132 рад/сек (1260 об/мин);
- начальное полное давление на входе: 100000 Па;
- массовый расход воды на выходе: 16 кг/с.

Давление на входе будет постепенно уменьшаться до 12000 Па для анализа влияния кавитации на работу насоса.

Моделирование турбулентности осуществляется с использованием модели k- ϵ , которая широко применяется для описания турбулентных потоков в гидромашинах. Для учета кавитации используется уравнение Рэлея — Плессета, которое описывают поведение кавитационных пузырьков в жидкости.

Расчетная сетка должна быть достаточно детальной, особенно в зонах с высокими градиентами давления и скорости, что важно для точного учета эффектов кавитации и турбулентности [2-3].

Проявление кавитации будет отслеживаться с помощью параметра объемной доли водяного пара. При начальном давлении 100000 Па в проходе лопатки нет водяного пара (рис 1), поскольку минимальное статическое давление в модели выше давления пара. Это означает, что условия эксплуатации насоса находятся в зоне, где кавитация не возникает, и насос работает без негативного влияния кавитационных явлений.

При снижении давления на входе в центробежный насос до 40000 Па начинает наблюдаться образование области с водяным паром на входе. Это явление связано с тем, что давление становится недостаточным для предотвращения парообразования, что является началом кавитации. При дальнейшем снижении давления до 20000 Па область с водяным паром расширяется на всасывающей стороне лопасти, практически полностью заполняя секцию лопасти.

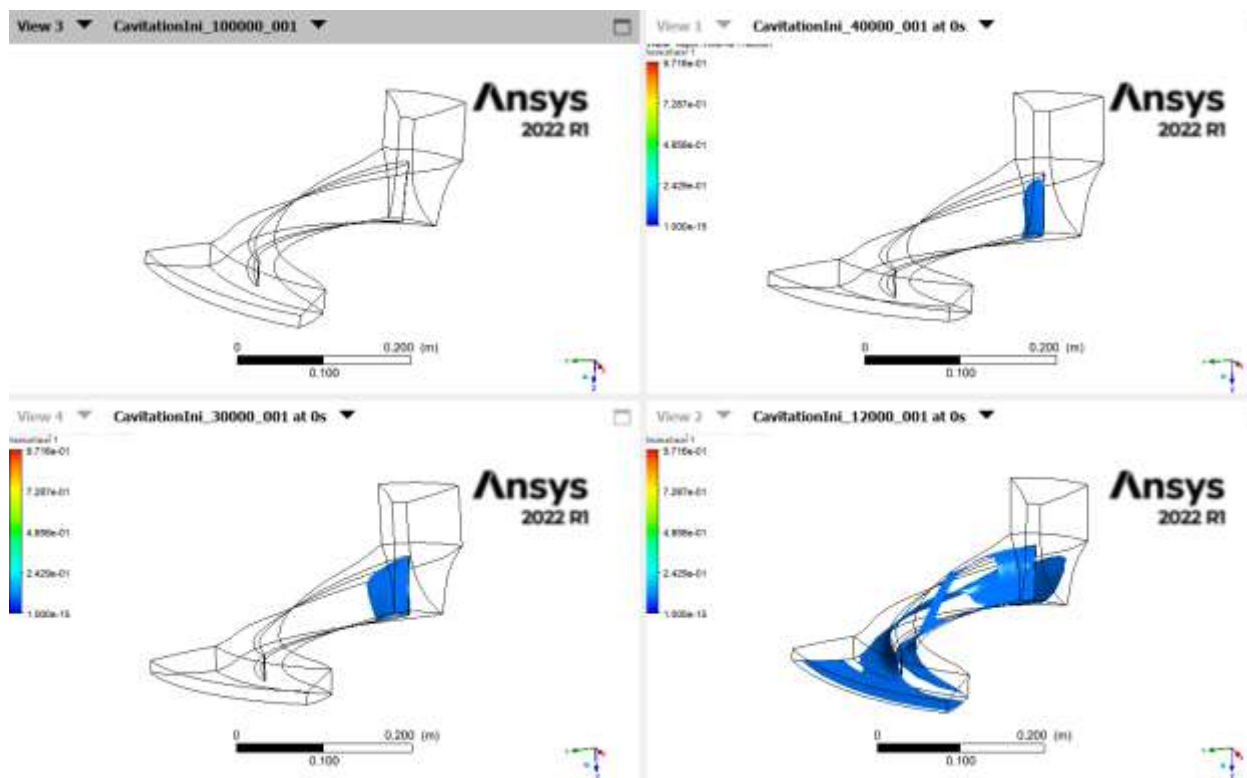


Рис. 1 Области кавитации в проходе лопасти рабочего колеса

Этот процесс указывает на прогрессирующее развитие кавитации, когда пузырьки пара образуются в большем объеме и распространяются по всему проходу лопасти. Это может привести к снижению производительности насоса, увеличению шума и вибраций, а также к потенциальному повреждению внутренних компонентов из-за гидравлических ударов при схлопывании пузырьков пара в зонах более высокого давления.

Для анализа зон кавитации в центробежном насосе также были построены эпюры распределения давления в рабочем колесе (рис 2).

Эпюры распределения давления показывают, как давление меняется вдоль меридиональной проекции лопасти, что позволяет выявить зоны, где давление становится ниже критического значения, соответствующего давлению парообразования.

В результате исследования явления кавитации в центробежном насосе с использованием ANSYS CFX выявлены ключевые аспекты, влияющие на образование кавитационных зон. При снижении давления на входе кавитация прогрессивно развивается, что может негативно повлиять на производительность и долговечность насоса.

Построенные эпюры распределения водяного пара и давления позволили визуализировать зоны кавитации и понять гидродинамические процессы внутри насоса. Полученные результаты могут служить основой для оптимизации конструкции и эксплуатации центробежных насосов, направленных на повышение их эффективности и надежности.

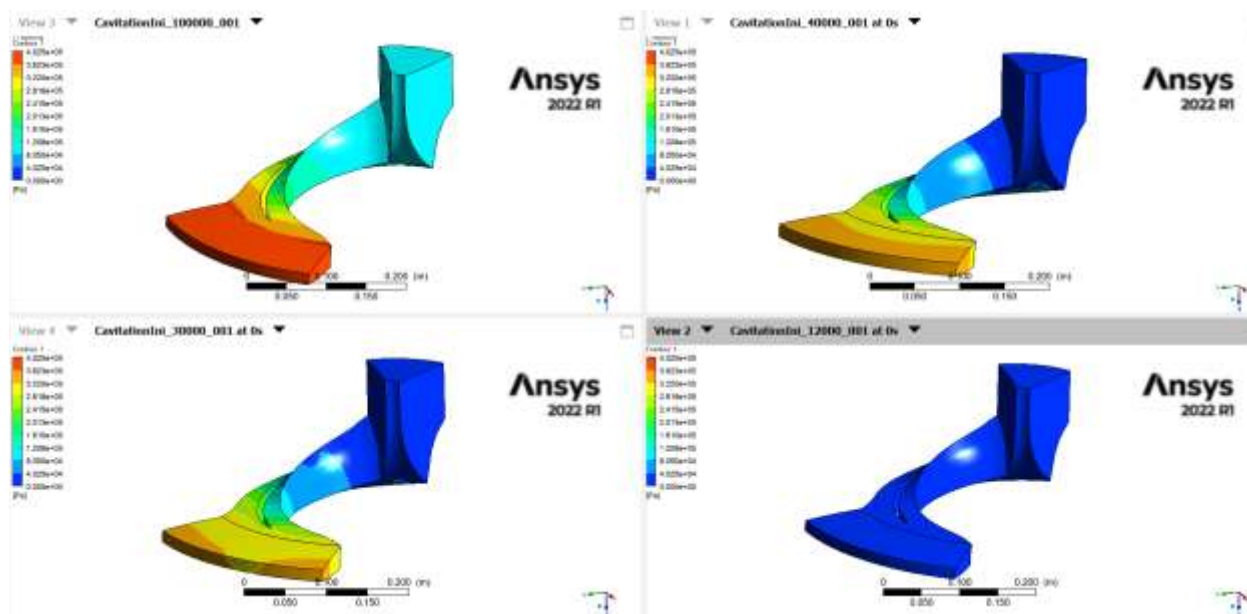


Рис. 2 Распределение давления в проходе лопасти рабочего колеса

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nipun P.R., Anand B., Tejas N.R. Investigation of Main Area of Cavitation in Centrifugal Pump Using Ansys CFX // Conference: International Conference on Latest Concepts in Science, Technology, Management and Humanities. – 2017. – P 58-63.
2. Алексеев Д. П. Численное моделирование кавитации в центробежном насосе / Д. П. Алексеев, А. В. Кузьмин, А. Ю. Чулюнин // МНИЖ. 2014. №5-1 (24). С 121-125.
3. Sedlar M., Soukal J., Kratky T., Vyroubal M. Numerical prediction of impacts of cavitation in pumps for power generation // Thermal Engineering. – 2015. – Vol. 62, No. 6. – P. 408-413. – DOI 10.1134/S0040601515060087.

УДК 669.2

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ УСТАНОВОК РАЗОГРЕВА-СЛИВА НЕФТЕПРОДУКТОВ ООО ОК РУСАЛ «АНОДНАЯ ФАБРИКА»

Герасимова Т.А., канд. техн. наук, доцент
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Рассмотрен опыт модернизации установками по разогреву и сливу нефтепродуктов на металлургическом предприятии. Цель работы: получение экономического эффекта за счет повышения производительности установки разогрева-слива нефтепродуктов. Модернизация реализована за короткие сроки. Данная внедрение гарантирует полное исключение возможности брака. Исследование представляет ценность как для специалистов в области металлургии, так и для экономистов.

Ключевые слова: установками по разогреву и сливу нефтепродуктов, насосное устройство, всасывающий трубопровод, высокое давление, паровая рубашка, экономический эффект, анализ Парето.

INCREASING THE PRODUCTIVITY OF OIL PRODUCTS HEATING AND DRAINING PLANTS OF LLC UC RUSAL "ANODE FACTORY"

Gerasimova T.A.

The article describes the experience of modernization with installations for heating and draining petroleum products at a metallurgical enterprise. Purpose of the work: obtaining an economic effect by increasing the productivity of the oil products heating-draining installation. The modernization was implemented in a short time. Implementation guarantees the complete elimination of the possibility of marriage. This study is of value to both metallurgists and economists.

Keywords: installations for heating and draining petroleum products, pumping device, suction pipeline, high pressure, steam jacket, economic effect, Pareto analysis.

В современной цветной металлургии наиболее перспективными с точки зрения условий труда, возможного уровня автоматизации производственных процессов, обеспечения качества выпускаемой продукции, при наименьшем расходе электроэнергии и сырья признаны электролизеры с обожженными анодами. Электролизер РА-400 способен выдать 3,3 тонны готовой продукции. Для этого необходимо электроэнергии 12300 кВт/ч, 2 тонны глинозёма и 450 кг угольного анода. При стоимости 820 \$ за тонну анод является одной из основных статей расходов производство.

Обжиг анодных блоков осуществляется в многокамерных печах открытого типа с подвижной зоной "огня". Расход мазута на тонну готовой продукции составляет 52 кг.

Учитывая объёмы производства анодных блоков, требуется значительное количество электрической и тепловой энергии. Процесс энергообеспечения Анодной Фабрики должен быть выстроен таким образом, чтобы обеспечивать надежное и бесперебойное снабжение всеми необходимыми видами ресурсов. Процессом обеспечения нефтепродуктами фабрики занимается участок Склад мазута и дизельного топлива (СМ и ДТ) это обособленное подразделение в составе службы главного энергетика. Участок осуществляет прием нефтепродуктов на железнодорожной эста-

каде, хранение в резервуарах и бесперебойное питание цехов основного производства.

Основной единицей оборудования участка является УРСН 4 установки для приема мазута и одна для дизельного топлива. Принцип работы УРСН основан на технологии «закрытого» двухконтурного циркуляционного разогрева, предусматривающий разогрев нефтепродукта при помощи смешивания и разделения разогретого во внешнем теплообменнике нефтепродукта на две части. Часть расхода подогретого мазута подается через откидные трубы в район эллиптических днищ цистерны, откуда он всплывает на поверхность холодного мазута за счет меньшей плотности, а более плотный и тяжелый холодный мазут опускается на дно цистерны в нижнюю зону, из которой через всасывающий трубопровод попадает в технологический блок установки. Часть расхода подогретого в теплообменнике мазута подается непосредственно в зону отбора продукта из цистерны в систему циркуляции, где смешивается с не разогретым мазутом. Данная технология имеет ряд преимуществ по сравнению с альтернативными решениями: исключает обводнение, позволяет обработать весь объем нефтепродукта, исключает операции по доочистке цистерн.

Однако практическая эксплуатация оборудования показывает слабые места даже самых современных систем. Из журнала отказов видно, что произошло 15 отказов установок, на устранение которых затрачено 75,5 часов.

Для выявления отказов, которые имеют наиболее негативное влияние на общую производительность системы, а также для выявления области принятия первоочередных мер, использован анализ Парето.

Основными причинными отказов, являются самопроизвольное отключение насосного устройства. Данный отказ произошел 5 раз, время устранения отказа составляет 45 часа 30 минут. Второй по значимости отказ — это некорректные показания датчика РТ-4, время на устранение потрачено 18 часов.

Для устранения данных отказов необходимо выявить коренные причины их возникновения. В начале процесса разогрева наблюдаться сильные перепады давления на входе и выходе насоса (давление на выходе насоса падает с 0,6 кПа до 0,1 кПа) наблюдаться локальная вибрация, характерный шум и сильные толчки. После этого происходит резкое падение производительности и отключение насосного устройства датчиком вибрации. Этот отказ возникает при работе с полностью промерзшим нефтепродуктом.

Такая симптоматика позволяет сделать вывод, что основной причиной возникновения, наиболее негативно влияющего на производственный процесс отказа, является кавитация.

Для предотвращения отрицательных явлений разработаны следующие способы:

Предлагается замена шарнирно-сочленённого трубопровода на армированный рукав высокого давления диаметром 175 мм с проложенным внутри падающим РВД. Это позволит исключить повороты потока в трубопроводе и сократить его длину до 3000 мм.

Данная конструкция сокращает длину всасывающего трубопровода на 30 % исключает 90° повороты, что должно положительно сказаться на прохождении мазута по всасывающему трубопроводу. Следует взять во внимание условия и круглогодичный период эксплуатации УРСН, а также частоту подключения к цистернам, возникает следующий явный недостаток данного решения — это его неудовлетворительная долговечность по причине малой устойчивости к перепадам температур и механическим повреждениям, вследствие чего потребуется дополнительный контроль и затраты на частую замену рукавов.

Следующее рассматриваемое решение – это монтаж на трубопровод УСН дополнительный обогрев при помощи паровой рубашки, это исключает замерзание нефтепродукта в трубопроводе при отключении насосного устройства и последующий выход установки из строя и способствует поддержанию однородной температуры мазута на всасывающем трубопроводе, что в свою очередь обеспечивает равную вязкость нефтепродукта. Однако учитывая температуру теплоносителя, подаваемого в паровую рубашку, около 250 °С., а также тот момент что данные паровые рубашки будут расположены на всасывающем трубопроводе перед насосным устройством и теплообменником в этих зонах будет возникать локальный перегрев нефтепродукта, более 90 °С. Автоматика, работающая, основываясь на показаниях датчиков температуры и давления на входе во избежание перегрева будет автоматически уменьшать подачу пара на теплообменник, что отрицательно скажется на фактической скорости протекания процесса прогрева нефтепродукта.

Произведена модернизация верхнего контура подачи нефтепродукта по средствам монтажа в нее дополнительной линии парового подогрева колонны. В корпус колонны УВН монтируется U-образная труба из нержавеющей стали с двумя фланцевыми соединениями для подсоединения рукавов высокого давления. Изменена технология запуска установки при разогреве полностью застывшего мазута. До запуска насосного устройства в цистерну устанавливается верхний контур колонны с подключенными паровыми рукавами высокого давления. Колонна прогревает вокруг себя участок нефтепродукта радиусом около метра. Такое решение позволяет сразу подавать на всасывающий трубопровод насоса мазут с равномерной температурой и одинаковой вязкостью, что в свою очередь минимизирует вероятность возникновения отрицательных воздействий, а также исключает отключение насоса.

Решение проблем по линии АСУ ТП - Сенсором для датчика РТ-4 служит тензорезистор, в основе принципа работы которого, лежит изменение сопротивления проводниковых и полупроводниковых материалов при

их механической деформации под воздействием на них давления. Мембрана работает в агрессивной среде давление до 7 кПа, температура до 250 °С, поэтому датчик имеет демпфер радиатор, в котором и возникает нежелательный эффект (перемерзание).

Решение - снижение воздействия окружающей среды на радиатор датчика, путем установки на радиатор и соединительные муфты кожуха из минеральной ваты и металлизированного термоизоляционного скотча для датчиков РТ-4.

Важно то, что модернизация реализована за короткие сроки, без вывода оборудования в ремонт, что исключает простой оборудования и ускоряет получение прибыли.

Произведены расчеты экономического эффекта и общей эффективности эксплуатации оборудования (ОЕЕ)

Доступность (Availability) Суммарное время внепланового простоя согласно Журнал дефектов оборудования снижено с 75,5 часов до 12 часов.

Производительность (Performance). Операционное время для обработки 94 железнодорожных цистерн составляет 986,5 часов (1050 в прошлом периоде)

Качество (Quality) - Брак снижен с 5,5 тонн до 0 тонн.

Экономический эффект от внедрения комплекса мероприятий находится из разности затрат до внедрения 541771 руб. и затрат на реализацию 90596 рублей и составляет 451175 руб.

УДК 622.242.2.

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕНЗОРЕЗИСТОРОВ В НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.

Зобнин Г.К.¹, магистрант; **Лагунова Ю.А.^{1,2}**, профессор
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург

Представлены возможности применения тензорезисторов в нефтяной и газовой промышленности. Так же в статье представлены варианты совершенствования и перспективы развития тензорезисторов с учетом потребностей современного бурения скважин.

Ключевые слова: Тензорезистор, пьезорезистивный эффект, нефтяная и газовая промышленность, датчики давления.

POSSIBILITY OF USING STRAIN GAUGES IN THE OIL AND GAS INDUSTRY

Zobnin G.K., Lagunova Yu.A.

The article presents the possibilities of using strain gauges in the oil and gas industry. The article also presents options for improvement and prospects for the development of strain gauges, taking into account the needs of modern well drilling.

Keywords: Strain gauge, piezoresistive effect, oil and gas industry, pressure sensors.

Нефтяная и газовая промышленность предъявляет высокие требования к точности и надежности измерительных систем. Контроль давления, температуры, деформаций и других параметров в реальном времени позволяет повысить безопасность и эффективность добычи и транспортировки углеводородов. Тензорезисторы, представляющие собой резистивные элементы, сопротивление которых изменяется под воздействием механической деформации, находят широкое применение в этой сфере благодаря высокой чувствительности и долговечности [1].

Принцип работы тензорезисторов. Тензорезисторы основаны на пьезорезистивном эффекте, при котором сопротивление материала меняется в зависимости от механической деформации. Обычно они изготавливаются из полупроводниковых материалов, таких как кремний или поликремний, обладающих высоким коэффициентом тензочувствительности.

Основные параметры тензорезисторов: чувствительность – способность регистрировать малые изменения деформации; температурная стабильность – важна для использования в условиях высоких температур; долговечность – устойчивость к коррозии и агрессивным средам [2].

Области применения тензорезисторов в нефтегазовой промышленности.

1. Измерение давления в скважинах. Тензорезистивные датчики давления используются для мониторинга параметров внутри скважин. Контроль давления пластов: помогает определять оптимальные режимы добычи; предотвращает аварийные ситуации; резкие изменения давления могут сигнализировать о риске выбросов. *Примеры применения:* датчики типа МРХ и аналогичные, интегрируемые в системы мониторинга скважин.

2. Температурная диагностика оборудования. Тензорезисторы также используются для измерения температуры в различных узлах оборудования: мониторинг насосов и компрессоров позволяет предотвращать перегрев и выход из строя; контроль температуры буровых растворов – важен для предотвращения их кристаллизации и повышения эффективности бурения.

3. Киберфизические системы и IoT. Тензорезисторы являются неотъемлемой частью киберфизических систем (CPS) и Интернета вещей (IoT) в нефтегазовой отрасли. Интеграция с беспроводными датчиками: передача данных о давлении и температуре в реальном времени. Предииктивная аналитика: использование данных для прогнозирования отказов оборудования и оптимизации техобслуживания.

4. Диагностика и контроль трубопроводов. Тензорезистивные датчики используются для контроля состояния трубопроводов. Обнаружение микротрещин и деформаций: позволяет предотвращать утечки и аварии. Мониторинг коррозии: измерение напряжений в металле помогает оценивать степень коррозионного износа [3].

Преимущества тензорезисторов. Высокая точность и чувствительность: позволяют регистрировать малейшие изменения параметров. Устойчивость к агрессивным средам: защитные покрытия и герметизация обеспечивают долговечность. Компактность: возможность интеграции в небольшие устройства и системы. Энергоэффективность: малое потребление энергии делает их пригодными для автономных систем мониторинга.

Перспективы развития. Развитие нанотехнологий: создание тензорезисторов на основе наноматериалов для повышения чувствительности. Интеграция с искусственным интеллектом: использование алгоритмов машинного обучения для обработки данных с тензорезисторов. Повышение температурной устойчивости: разработка новых материалов для работы в условиях высоких температур.

Вывод. Применение тензорезисторов в нефтяной и газовой промышленности способствует повышению безопасности и эффективности процессов. Их точность, долговечность и способность работать в экстремальных условиях делают их незаменимыми элементами систем мониторинга и управления. В дальнейшем развитие материалов и интеграция с цифровыми технологиями позволит еще шире применять тензорезисторы.

Список литературы

1. Иванов А. А., Петров Б. В. Тензорезисторы в системах мониторинга нефтегазовых объектов // Журнал «Нефть и Газ», 2023.
2. Смирнова Е. В. Применение киберфизических систем в нефтегазовой промышленности // Cyberleninka.ru.
3. Кузнецов Д. И. Диагностика состояния трубопроводов с использованием тензорезисторов // Вестник машиностроения, 2024.

УДК 622.276.054.4

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ПОЛОЖЕНИЯ КАНАТНЫХ НАСОСНЫХ ШТАНГ НА УЧАСТКАХ НАБОРА КРИВИЗНЫ СКВАЖИН

Иванченко А.А., Зверев В.Ю.

Пермский государственный исследовательский политехнический университет,
г. Пермь, Россия

Рассмотрены особенности эксплуатации штанговых насосных установок, оснащенных канатными штангами. Описан способ повышения наработки канатных штанг за счет установки центраторов, обеспечивающих прямолинейное положение каната в скважине на участках набора кривизны.

Ключевые слова: канатная штанга, штанговая скважинная насосная установка, скважина с боковым стволом, центратор.

ENSURING THE RECTILINEAR POSITION OF THE ROPE PUMPING RODS IN THE AREAS OF THE WELLS CURVATURE SET

Ivanchenko A.A., Zverev V.Yu.

The features of operation of rod pumping units equipped with rope rods are considered. A method is described for increasing the operating time of rope rods by installing centralizers that ensure the rectilinear position of the rope in the borehole in areas of a set of curvature.

Keywords: rope rod, rod borehole pumping unit, borehole with a side barrel, the centralizer.

В настоящее время скважинная добыча нефти на промыслах России зачастую сопряжена с разработкой запасов, относящихся к трудно извлекаемым. Активно применяются технологии бурения наклонно-направленных скважин и зарезки боковых стволов нефтяных скважин. Искривлённый профиль наклонных скважин обуславливает необходимость использования адаптированного погружного насосного оборудования.

Одним из видов оборудования, которые сегодня используются для эксплуатации скважин с боковыми стволами, являются скважинные насосные установки с канатной штангой (СНУ с КШ). Применение канатной штанги позволило повысить надежность насосной установки. Отсутствие муфт на канатной штанге и ее гибкость способствуют увеличению площади контакта штанги с внутренней поверхностью насосно-компрессорной трубы (НКТ). В связи с этим использование канатных штанг на изогнутых участках вместо традиционных насосных штанг позволяет уменьшить износ как НКТ, так и канатной штанги [1, 2].

Установки с канатными штангами эксплуатируются на нефтепромыслах ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» уже более 10 лет, существующий опыт показал, что, несмотря на высокую эффективность, в некоторых условиях установка выходит из строя из-за отказа канатной штанги. На наработку до отказа СНУ с КШ влияют ряд осложняющих факторов, таких как образование отложений асфальтосмолопарафиновые отложения и угол отклонения скважины от вертикали, все это приводит к зависанию скважинного

оборудования при спуске, дальнейшему изгибу и сжатию канатной штанги.

Канатная штанга в наклонно-направленных скважинах может быть охарактеризована как гибкая однородная нерастяжимая тяжёлая нить. При ее свободном вися и закреплении по обоим концам она стремится принять траекторию цепной линии, которая в скважине ограничивается стенками насосно-компрессорной колонны. В скважине канатная штанга ограничена колонной насосно-компрессорных труб. При ослаблении канатная штанга принимает в колонне непрямолинейное положение, обусловленное тем, что длина каната больше того участка НКТ, на котором он располагается.

Достичь приближенного к заданному искривлению скважины положения канатной штанги, возможно благодаря креплению на нем центраторов (рис. 1), места установки которых определяются из условия обеспечения устойчивости канатной штанги на рассматриваемом участке при воздействии максимальной сжимающей нагрузки [3, 4].

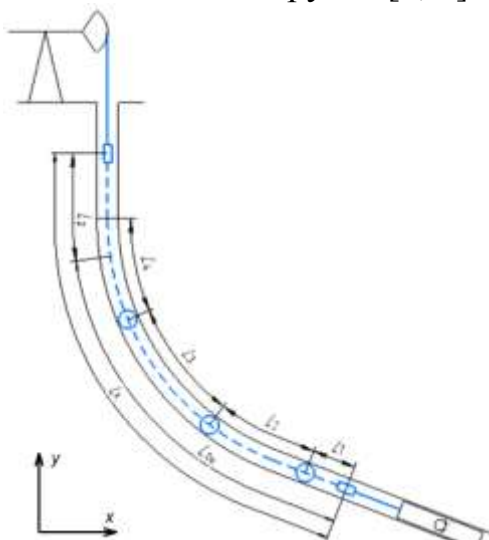


Рис. 1. Схема установки центраторов по длине сжимающего участка канатной насосной штанги

Центраторы устанавливаются в месте максимального расчетного отклонения гибкой нити f относительно траектории скважины $f_{\text{скв}}$. Под отклонением подразумевается расстояние по нормали траектории скважины от траектории прогиба гибкой нити. Нормалью называется прямая, проходящая через i -тую точку перпендикулярно касательной к графику функции скважины, которая также называется, как перпендикуляр функции:

$$y = f(x_0) - \frac{1}{f'(x_0)}(x - x_0) \quad (1)$$

С учетом записи траектории скважины в виде базы данных (инклинограммы) уравнение проекции перпендикуляра будет иметь вид:

$$f_{\text{П}i}(x) = f_{\text{скв}}(x_i) - \frac{x_{i+1} - x_i}{f_{\text{скв}}(x_i) - f_{\text{скв}}(x_{i+1})} \cdot (x - x_0), \quad (2)$$

где x_i – рассматриваемое сечение скважины вдоль горизонтальной оси, м.

Отклонение расчетного положения канатной штанги от траектории скважины определяем по выражению:

$$\Delta = \frac{f_{\text{СКВ}}(x_i) - y(x_i')}{\sin(\theta)} \quad (3)$$

где θ – угол наклона перпендикуляра к функции, описывающей траекторию скважины, град; x_i' – текущее сечение канатной штанги, соответствующее рассматриваемому сечению скважины вдоль горизонтальной оси, м.

Для определения параметров x_i и x_i' необходимо решить систему уравнений:

$$\begin{cases} f_{\text{СКВ}}(x_i) = f_{\Pi i}(x_i); \\ f_{\Pi i}(x_i') = y(x_i'). \end{cases} \quad (4)$$

Максимальное отклонение канатной штанги относительно траектории скважины (Δ_{max}) (рис. 2.) определяет место установки центратора. При монтаже центратора в место максимального отклонения, траектория прогиба гибкой нити изменится, тем самым канат примет прямолинейное положение, то есть будет сходиться с траекторией скважины на участке от верхней точки подвеса до центратора. Далее определяется максимальное отклонение на участке от центратора до нижней точки подвеса, фиксируем этот участок в новой точке.

Благодаря установке центраторов канат не занимает изогнутое положение в колонне, напоминающее спиральную кривую, а прилегает максимально близко к заданному искривлению скважины, предложенный способ эксплуатации обеспечивает устойчивость канатной штанги при зависании канатной штанги и, как следствие, повышение ее наработку.

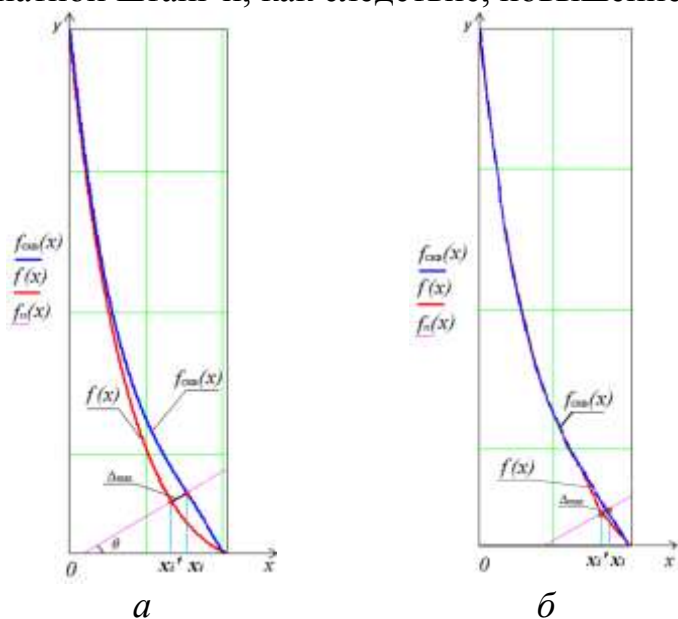


Рис. 2. Прогиб цепной линии на криволинейном участке скважины:

$f_{\text{СКВ}}$ – траектория скважины; f – траектория свободного прогиба цепной линии; f_{Π} – функция перпендикуляра к траектории скважины
а – без центраторов, б – с 1 промежуточным центратором

Таким образом, установка центраторов по длине канатной штанги из условия обеспечения ее наименьшего отклонения (прогиба) от траектории

скважины по описанной методике обеспечит ее прямолинейное расположение при эксплуатации. Ожидаемо, что такие параметры насосной установки позволят увеличить безотказность канатных штанг за счет сохранения их работоспособности при зависании скважинного оборудования.

Список литературы

1. О возможности штанговой эксплуатации скважин с боковыми стволами малого диаметра / В. Н. Ивановский, А. А. Сабиров, А. В. Деговцов [и др.] // Территория Нефтегаз. – 2013. – № 12. – С. 82-87.
2. Опыт эксплуатации скважин с боковыми стволами малого диаметра насосными установками с канатной штангой в ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь» / В. Н. Ивановский, А. А. Сабиров, А. В. Деговцов [и др.] // Территория Нефтегаз. – 2015. – № 3. – С. 78-87.
3. Повышение надежности канатных штанг скважинных штанговых насосных установок / А. А. Иванченко, Г. Д. Трифанов, Д. И. Шишлянников [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2019. – № 11. – С. 33-38.
4. Повышение наработки на отказ штанговых скважинных насосных установок с канатными штангами / А. А. Иванченко, В. Ю. Зверев // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горно-шахтного и нефтепромышленного оборудования : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. Горная и нефтяная электромеханика - 2023 (Пермь, 14-16 нояб. 2023 г.) / М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Перм. нац. исслед. политехн. ун-т, ГНФ, Каф. Горная электромеханика. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2023. - С. 189-195.

УДК 622.242

РОБОТИЗАЦИЯ БУРОВЫХ КОМПЛЕКСОВ. ВЧЕРА. СЕГОДНЯ. ЗАВТРА

Порожский К.П.¹, Чернухин С.А.^{1,2,3}, Мурахтин В.Л.⁴

1 – ФГБОУ ВО «УГГУ»; 2 – ФГАОУ ВО «УрФУ»; 3 – ФГБОУ ВО «Уральский ГАУ»;

4 – ООО «Уралмаш НГО Холдинг»

В работе рассматривается развитие робототехники при бурении нефтяных и газовых скважин. Показаны основные операции процесса бурения и состав роботизированного бурового комплекса, а также определены факторы, обуславливающие целесообразность их роботизации. Намечены подходы и пути создания буровых роботизированных комплексов.

Ключевые слова: роботизация, процесс бурения, буровой технологический комплекс, комплексный подход.

ROBOTICS OF DRILLING COMPLEXES. YESTERDAY. TODAY. TOMORROW

Porozhskiy K.P., Chernukhin S.A., Murakhtin V.L

The article discusses the development of robotics in oil and gas well drilling. The main operations of the drilling process and the composition of the robotic drilling complex are shown, as well as the factors determining the feasibility of their robotization. Approaches and ways of creating robotic drilling complexes are outlined.

Keywords: robotization, drilling process, drilling technology complex, integrated approach.

В наши дни манипуляторные и автоматизированные системы занимают важное место в процессах бурения, добычи, транспортировки и обработки нефти и газа. Согласно прогнозу GlobalData рынок промышленных роботов для нефтегазовой отрасли будет расти со среднегодовым приростом 30 % и достигнет ~\$500 млрд. к 2030 году [1]. Основные преимущества роботизации известны и заключаются в повышении производительности за счёт исключения «человеческого фактора» и повышение безопасности работ.

Однако до сих пор применение робототехники в нефтегазовой отрасли остается крайне низким. По оценкам международного консалтингового агентства «Rystad Energy» в мировой нефтегазовой отрасли около 20 % работ будут автоматизированы и роботизированы в течение следующих 10 лет. [2].

Важность проектов роботизации в нефтегазовой отрасли России подчеркнута на государственном уровне. В ноябре 2020 г. По результатам работы рабочей группы по цифровой трансформации нефтегазовой отрасли принято решение разработать концепцию и «дорожную карту» по роботизации нефтегазовой отрасли [3]. Большинство авторов публикаций ставят роботизацию на уровне постановки задачи, причём не выделяют приоритетные направления и объекты роботизации.

В качестве основных причин невысокого уровня роботизации в бурении эксперты выделяют следующие [4]:

- недостаточно обоснована экономическая целесообразность применения роботов;

- нет системности в разработке больших технологических комплексов;
- нехватка кадров, отсутствие законодательства и системного спроса на роботы;
- технологические санкции западных партнёров и отсутствие поставок запасных частей к имеющимся роботам;
- роботизация отдельных операций буровой установки может привести к снижению безопасности на рабочем месте как для самих роботов, так и для рабочих;
- сложность и высокая стоимость защиты информации;
- отсутствие финансовой поддержки со стороны государства.

Роботизация в бурении сдерживается еще и тем, что буровые комплексы работают в трудных климатических и горно-геологических, сложно предсказуемых условиях, при этом при выполнении только спуско-подъемных операций применяется более 60 типоразмеров различных труб. Всё это требует перепрограммирования роботов для конкретных условий эксплуатации даже при бурении одной скважины.

На практике многие компании мира постепенно роботизируют отдельные операции технологического процесса бурения. Первые автоматизированные комплексы спускоподъемных операций – автоматы спуско-подъема (АСП) [5] на базе ПАО «Уралмашзавод» были созданы в 1964г. В 1979 году была создана и испытана первая автоматизированная буровая установка «Уралмаш-125А», в которой были автоматизированы работы на приёмном мосту для подготовки бурильных и обсадных труб к спуску, спуск и наращивание обсадных и бурильных труб [5].

Первая роботизированная буровая система DFR-1500 была запущена компанией Robotic Drilling Systems в опытную эксплуатацию в 2015 году [6]. Она состоит из 4 главных компонентов: бурового робота Drill-floor Robot DFR-1500; мультиразмерного элеватора Multi-size elevator MSE-350 на базе антропоморфного манипулятора FANUC M-2000iA/2300L с грузоподъемностью 2300 кг; трубоукладчика Robotic Pipe Handler RPH-3500 и электрического ключа Robotic Iron Roughneck RIR-270. Это, по сути, робототехническое устройство, так как роботизируется только спуск-подъем бурильных труб и забойных компоновок.

Одним из лидеров на российском рынке автоматизации и роботизации процессов бурения является компания ООО «Уралмаш НГО Холдинг». В виде опций к стандартному набору оборудования буровой установки компания предлагает комплектацию с дополнительными системами: роботизированным спускоподъемным комплексом; осциллятором в составе СВП для предотвращения прилипания колонны к стенкам скважины и ориентации ВЗД в заданном направлении; системой мониторинга параметров бурового раствора; системой контроля наработки оборудования.

Типовые циклические технологические операции подвергнуты автоматизации на высоком уровне. В то же время наблюдается общая тенденция к созданию полностью автономных систем. Расширение области при-

менения роботов требует кропотливой работы по формализации многовариантных операций и более системного подхода к анализу накопленного опыта строительства скважин в различных горно-геологических условиях.

В качестве объектов роботизации могут рассматриваться следующие технологические операции и применяемые для их выполнения элементы бурового технологического комплекса (БТК). В таблице представлены некоторые операции процесса бурения и состав роботизированного бурового комплекса, а также показаны факторы, обуславливающие целесообразность роботизации операций.

Операции технологического процесса бурения	Целесообразность роботизации	Состав роботизированного бурового комплекса
Проходка ствола: разрушение забоя, управление траекторией ствола скважины	Повышение механической скорости бурения и точности проводки скважины по заданной траектории, снижение аварийности	Силовой верхний привод (СВП) с осциллятором, буровой насос, регулятор подачи долота, забойный телеметрический комплекс
Промывка скважины, приготовление и очистка промывочной жидкости	Повышение коммерческой скорости бурения за счёт уменьшения вероятности аварий и осложнений. Повышение безопасности работ при использовании химических соединений, повышение качества БПЖ и уменьшение ручного труда	Насосно-циркуляционный комплекс, система непрерывной промывки, устройства для приготовления, хранения и очистки промывочной жидкости с элементами предиктивной аналитики формирования составов раствора и отслеживания параметров раствора в режиме реального времени
Спускоподъёмные операции с бурильными, обсадными трубами и забойными компоновками	Повышение безопасности работ за счёт удаления людей из опасных зон и опасных операций. Повышение технической скорости бурения	СПК: СВП с гидроэлеватором, трубным зажимом, системой позиционирования; буровой ключ-робот; спайдер; трубные манипуляторы на рабочей площадке и балконе; механизированный приёмный мост
Контроль наработки и предельных состояний оборудования	Повышение безопасности и долговечности оборудования за счёт отслеживания предельных состояний по вибрации	Встроенные средства диагностики и анализа наработки и вибрации с индикацией в системе сервисного обслуживания.

Роботизация бурового процесса требует комплексного подхода, поскольку автоматизация одной операции ведёт к модернизации смежных механизмов. Так, роботизированный СВП выполняет до 8 функций, для некоторых из которых необходимо роботизировать до 15 операций. Его работа должна быть согласована с другими системами РБУ: при бурении — с забойным двигателем, механизмом подачи долота, подъёмной системой и насосно-циркуляционным комплексом; при спускоподъёмных операциях — с подъёмной системой, манипулятором, буровым ключом-роботом, спайдером и приёмным мостом.

Создание единого бурового роботизированного комплекса, судя по всему, является задачей на перспективу. В этой связи важно выделить некие этапы внедрения робототехники, которые можно осуществить, роботизи-

зируя комплекс отдельных технологических операций. В первую очередь следует роботизировать операции проходки ствола (разрушение забоя и направленное бурение), что должно идти по пути создания единого роботизированного бурового технологического комплекса, включающего как скважинное, так и наземное буровое оборудование (СВП с регулятором подачи, осциллятором и забойной телеметрической системой). Параллельно должна развиваться система роботизации операций спускоподъёма буровых и обсадных труб, системы промывки скважин и средств контроля наработки и предельных состояний бурового оборудования. По сути, в составе буровой установки нужно создавать роботизированные технологические участки (РТУ) – совокупность роботизированных технологических комплексов, связанных между собой технологическими и конструктивными средствами и системой управления.

Следует также отметить, что уровень роботизации буровых должен быть связан с конструктивным типом буровой [7]. Наиболее вероятно это будут кустовые буровые с электроприводом и морские буровые, т.к. они реже подвергаются ремонту. Целесообразно также роботизировать тяжёлые буровые для глубокого и сверхглубокого бурения скважин со сложной траекторией и горизонтальным окончанием ствола из-за значительного количества СПО в цикле строительства скважины и высокой вероятности осложнений и аварий.

Список литературы

1. Роботизация в нефтегазовой индустрии: применения, вызовы и успешные примеры внедрения // smartgopro URL: https://smartgopro.com/novosti2/robotization_oil_gas_industry/ (дата обращения: 11.02.2025).
2. Robots could replace hundreds of thousands of oil and gas jobs, save billions in drilling costs by 2030 // OGV Energy URL: <https://ogv.energy/news-item/robots-could-replace-hundreds-of-thousands-of-oil-and-gas-jobs-save-billions-in-drilling-costs-by-2030/> (дата обращения: 11.02.2025).
3. Байкова О. В., Громыко Е. О. Эффекты цифровой трансформации в нефтегазовом комплексе // Вестник ГУУ. 2021. № 6.
4. Роботизация в нефтегазовой отрасли: когда ждать прорыва? на Промышленно-энергетическом форуме TNF 2022. Нефтегазовая промышленность, № 2 2023.
5. Буровые комплексы / под общ. ред. К.П. Порожского. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2013. – 768 с.
6. Ивлев, А. П. Петророботика: роботизированные буровые комплексы / А. П. Ивлев, Н. А. Еремин // Бурение и нефть. – 2018. – № 2. – С. 8-12. – EDN YPQFFY.
7. Порожский К. П., Мурахтин В. Л. Поиск путей создания новых буровых комплексов // Бурение и нефть. – 2023. – № 6. – С. 24-27. – EDN MXSONO.

УДК 622.276.53

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ УСТАНОВОК ШТАНГОВЫХ СКВАЖИННЫХ НАСОСОВ С ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ

Шишлянников Д. И., проф., Фролов С. А., ст. преп., Коротков Ю. Г., асп.,
Картавцев В. К., асп., Дрёмина Д. И., асп.

ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь, РФ

Около 30 % нефтедобывающих скважин, эксплуатируемых механизированным способом на промыслах России, оснащены установками штанговых скважинных насосов (УШСН). Осложненные малodeбитные скважины всё чаще оснащаются УШСН с электрогидравлическим приводом (ЭГП), характеризующимся хорошей транспортабельностью, удобством монтажа, малой металлоемкостью, наличием информативных систем мониторинга и телеметрии, широкими диапазонами регулирования режимных параметров при функционировании. Повсеместному внедрению ЭГП УШСН препятствует низкая наработка на отказ. Предложено техническое решение, позволяющее повысить надежность функционирования ЭГП УШСН с электродинамическим уравниванием.

Ключевые слова: скважинная добыча нефти, установка штангового скважинного насоса, электрогидравлический привод, электродинамическое уравнивание, рекуперация.

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

INCREASING RELIABILITY OF SUCKER ROD PUMPING UNITS WITH ELECTROHYDRAULIC DRIVE

D. I. Shishlyannikov, S. A. Frolov, Y. G. Korotkov, V. K. Kartavtsev, D. I. Dremina

In Russia, about 30 % of oil producing wells operated by mechanized method with use the sucker rod pumping units (SRPU). Complicated low-debit wells are increasingly being equipped by SRPU with electrohydraulic drive (EHD), which characterized by good transportability, ease of mounting, low metal consumption, availability of informative monitoring and telemetry systems, wide ranges of regulation of mode parameters during operation. The widespread implementation of the SRPU EHD is hindered by low operating time for failure. A technical solution has been to improve the reliability of the operation of the SPRU EHD with electrodynamic balancing.

Keyword: well oil production, sucker rod pumping unit, electrohydraulic drive, electrodynamic balancing, recuperation.

The research was carried out with the support of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project No. FSNM-2023-0005).

В России и за рубежом скважинная добыча нефти осуществляется в основном механизированными способами. Около 30 % добывающих скважин на нефтяных промыслах России эксплуатируют с помощью установок штанговых скважинных насосов (УШСН). Такие скважины преимущественно относятся к осложненному фонду с малым и средним дебитом (до 50 м³/сут) [0], вследствие чего как к погружному оборудованию, так и к приводу УШСН предъявляют все более высокие требования. Одним из требований является возможность регулирования в широких диапазонах режимные параметры работы (частота качаний, длина хода колонны насосных штанг) [1, 2].

Электромеханический привод УШСН – балансирный станок-качалка (СК) – при всех известных достоинствах, характеризуется высокой металлоемкостью и сложностью автоматизации [3]. Всё чаще осложненные малодебитные скважины оснащаются УШСН с электрогидравлическим приводом (ЭГП), использование которого, по отзывам специалистов нефтедобывающих предприятий, является перспективным [4].

В сравнении с балансирными СК перспективный ЭГП УШСН имеет ряд преимуществ: хорошая транспортабельность, удобство монтажа, малая металлоемкость, наличие информативных систем мониторинга и телеметрии, широкие диапазоны регулирования режимных параметров при функционировании [5, 8].

К недостаткам серийно выпускаемых ЭГП УШСН традиционно относят меньшую надежность и ремонтпригодность по сравнению с балансирными СК, низкую энергоэффективность, что связано с несовершенством применяемых способов уравнивания [6, 7]. Исходя из указанных недостатков, следует, что решение задач по совершенствованию конструкций ЭГП УШСН является актуальным и имеет высокую значимость для нефтедобывающей отрасли страны.

Приводы ЭГП УШСН снабжены различными уравнивающими устройствами, среди которых наибольшее распространение получили относящиеся к электродинамическому типу уравнивания гидравлической передачи [4].

Основным недостатком ЭГП УШСН с электродинамическим уравниванием является низкая надежность и малая наработка на отказ. Одним из факторов обуславливающих частые отказы является действие динамических нагрузок на приводной вал аксиально-поршневого мотор-насоса, возникающих при переходе электродвигателя из двигательного в генераторный режим работы при опускании колонны штанг (КШ).

Данные динамические нагрузки вызывают усталостный износ металла шлицевого вала и его последующее разрушение.

Устранение динамических нагрузок, действующих на приводные валы электродвигателя и мотор-насоса маслостанции ЭГП, возможно посредством замены мотор-насоса на две необратимые объемные гидравлические машины: мотор и насос. При этом гидромотор соединяется с отдельным генератором и может иметь меньший рабочий объем по сравнению с насосом. Принципиальная схема предложенного авторами ЭГП УШСН представлена на рис. 1.

Предлагаемый ЭГП УШСН содержит следующие элементы. Силовой ГЦ 1, обеспечивающий движение КШ. Гидрораспределитель 2 с электромагнитным управлением, осуществляющий смену направления потока рабочей жидкости в гидравлической системе привода. Насос 3 и гидромотор 6 обеспечивают, соответственно, преобразование механической энергии в гидравлическую и наоборот. Приводной электродвигатель 4 кинематически связан с насосом 3. Гидромотор 6 соединен с генератором 12. Интел-

лектуальная система управления 5 (ИСУ), включающая в себя частотный преобразователь (ЧП), управляет электродвигателем 4, гидрораспределителем 2 и подает напряжение на обмотку возбуждения генератора 12. В состав предлагаемого ЭГП УШСН входят предохранительные клапаны 7 и 10, маслобак 8, фильтр 9, обратный клапан 11. Поршневая полость силового ГЦ 1 соединена с дренажным трубопроводом 13. Положение штока силового ГЦ 1 контролируется датчиками 14 и 15.

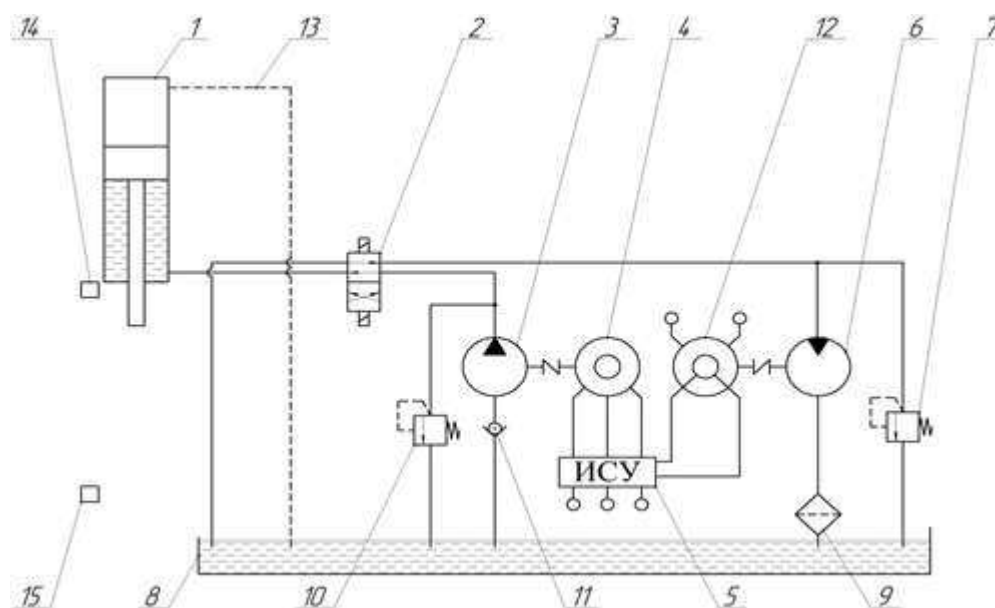


Рис. 1. Принципиальная схема усовершенствованного ЭГП УШСН

Описываемый ЭГП УШСН функционирует следующим образом. С помощью ИСУ 5 осуществляют пуск электродвигателя 4, в результате чего начинает работать насос 3. Рабочая жидкость всасывается насосом 3 из маслобака 8, проходя через обратный клапан 11, после чего нагнетается в штоковую полость силового ГЦ 1 по направлению, заданным гидрораспределителем 2 в верхнем положении. Под действием давления рабочей жидкости на поршень ГЦ 1 обеспечивается подъем штока и КШ. В конце хода КШ вверх по сигналу датчика 14 ИСУ 5 производит переключение гидрораспределителя 2 в нижнее положение, в результате чего напорный трубопровод насоса 3 сообщается с маслобаком 8, а входной трубопровод гидромотора 6 – с штоковой полостью силового ГЦ 1. При этом насос 3 работает в режиме холостого хода. На обмотку возбуждения генератора 13 подается напряжение от ИСУ 5. Движение рабочей жидкости на вход гидромотора 6 осуществляется в результате ее вытеснения из штоковой полости силового ГЦ 1 при перемещении поршня, вызванного передаваемым через шток усилием веса КШ в скважинной жидкости. Крутящий момент от гидромотора 6 сообщается валу генератора 12, в результате чего возникающая ЭДС на обмотках статора генератора 12 обеспечивает передачу электрической энергии на аккумулятор. В конце хода колонны штанг вниз ИСУ 5 по сигналу датчика 15 переключает гидрораспределитель 2 обратно

в верхнее положение, а далее цикл работы ЭГП УШСН повторяется. Таким образом, минимизируются динамические составляющие нагрузок, как на валах гидромашин 3 и 6, так и на валах электродвигателя 4 и генератора 12.

Реализация приведенного технического решения позволяет повысить надежность и увеличить время наработки на отказ перспективных ЭГП УШСН в условиях нефтяных промыслов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ивановский В. Н. Энергетика добычи нефти: основные направления оптимизации энергопотребления // Инженерная практика. 2011. № 6. С. 18–26.
2. Молчанов А. Г. Научные основы проектирования и эксплуатации штанговых скважинных насосных установок с гидроприводом для добычи нефти: дис. ... д-р техн. наук. Москва: Изд-во гос. академии нефти и газа, 1998. 398 с.
3. Шишлянников Д.И., Зверев В.Ю., Звонарева А.Г., Фролов С.А., Иванченко А.А. Оценка энергоэффективности функционирования и увеличение наработки гидравлических приводов установок штанговых скважинных насосов в осложненных условиях эксплуатации // Записки Горного института. 2023. Том 261. С. 349–362.
4. Григорьев С. Л., Демидов О.В. Гидропривод штангового скважинного насоса – новая технология добычи нефти // Территория НЕФТЕГАЗ. 2010. № 10. С. 59.
5. Седых А. А., Степанов Ю.Г., Абдуллин А.Ф. Результаты проведения опытно промысловых испытаний гидропривода ШГН с функцией рекуперации электроэнергии на фонде ПАО «Оренбургнефть» // Инженерная практика. 2016. № 3. С. 44–46.
6. Мазеин И.И., Устинов А.Н., Тяктев М.В., Рыбин А.А., Шишлянников Д.И. Результаты опытно-промышленных испытаний перспективных приводов штанговых скважинных насосных установок // Горное оборудование и электромеханика. 2016. № 9 (127). С. 8–14.
7. Lavrenko S., Klushnik I., Iarmolenko V. Test results for hydraulic drives of sucker-rod pumping units // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2019. Vol. 14. No. 16. P. 2881–2885.
8. Шишлянников Д.И., Тяктев М.М., Иванченко А.А., Островский В.Г., Воробель С.В. Оценка нагруженности гидравлических приводов штанговых скважинных насосных установок // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2019. №4. С. 34–39.

УДК 622.24

РАЗРАБОТКА ВИНК И АНО «ИНТИ» АКТУАЛЬНОГО ОТРАСЛЕВОГО СТАНДАРТА НА ГЕОЛОГО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анопин А.Ю.¹, Чумаков И.С.², Яковлев А. С.³, Зиновьев И. М.³, Мозголова Д.П.³

1 – ООО «Газпром нефть НТЦ»; 2 – ООО «Газпромнефть-Нефтесервис»;

3 – АНО «ИНТИ»

Рассматривается проблема актуализация отраслевого стандарта на геолого-технологические исследования. В ходе исследования выявлены недостатки в региональных стандартах, противоречия, а также установлена необходимость ослабления или усиления существующих требований в области геолого-технологических исследований.

Ключевые слова: геолого-технологические исследования, отраслевой стандарт, геологоразведочное оборудование, нефтяные компании.

DEVELOPMENT OF AN UP-TO-DATE INDUSTRY STANDARD FOR GEOLOGICAL-TECHNOLOGICAL RESEARCH BY VINC AND ANO INTI

Anopin A.Yu., Chumakov I.S., Yakovlev A.S., Zinoviev I.M., Mozgolova D.P.

The article considers the issue of updating the industry standard for geological-technological research. The study revealed shortcomings in regional standards, contradictions, and also established the need to weaken or strengthen existing requirements in the field of geological-technological research.

Keywords: geological-technological research, industry standard, geological exploration equipment, oil companies.

В профессиональных кругах общеизвестно, что действующими регламентирующими документами по услуге геолого-технологических исследований являются ГОСТ 53375-2016 и РД 153-39.0-069-01. В виду ряда факторов многие процессы, описанные в указанных нормативно-методических документах, не соответствуют текущим требованиям вертикально интегрированных нефтяных компаний. Кроме того, оба документа писались подрядными организациями (в первом случае автором выступал - С.В. Кожевников, во втором – Э.Е. Лукьянов). Профильной экспертной группой крупнейших ВИНК РФ было принято решение о необходимости разработки современного отраслевого стандарта на проведение ГТИ по актуальным требованиям недропользователей. АНО «ИНТИ» выступило агрегатором требований.

Новый отраслевой стандарт АНО «ИНТИ» (СТО ИНТИ 1.100.68) соответствует международным стандартам требований к организации геолого-технологических исследований: планированию работ, отбору подрядчиков, их персоналу и оснащению, а также соблюдению требований к передаче данных результатов геолого-технологических исследований.

Целями являлось выявление недостающих в региональных стандартах [1] требований, выявление противоречий в существующих требованиях, а также выявление необходимости их ослабления или усиления для выполнения геолого-технологических исследований в процессе строительства скважин на территории Российской Федерации.

Доработка коснулась многих разделов НМД. Впервые описаны требования к планированию и разработке технического задания, требования к подрядной организации по ГТИ и требования к выбору подрядчика по ГТИ. Актуализированы требования к персоналу по ГТИ. Впервые описаны требования к персоналу привлекаемого к работе на шельфовых проектах на территории РФ. Кроме того, были дополнены термины и определения.

Состав газокароажной станции был дополнен общими требованиями с учётом действующих норм безопасности. Для повышения качества измерений предъявлены более строгие требования к изготовлению оборудования, в частности: изменены технические требования к оборудованию для расчёта объёма промывочной жидкости в ёмкостях, измерения расхода промывочной жидкости на входе и выходе, контролю содержания сероводорода, газов взрывоопасной смеси (нижний предел взрывоопасности) и оксида углерода в окружающей среде.

В разделе посвящённому проведению геолого-геохимических исследований изменены технические требования к оборудованию, например, к цифровому микроскопу высокого разрешения предъявлено требований возможности формирования цифрового изображения. Кальциметр должен иметь возможность автоматизации процесса исследования и интеграции в программные обеспечения для передачи результатов исследования. Сушильный шкаф для обеспечения возможности проведения теста цементного раствора должен иметь максимальную температуру 200⁰С, а также уточнён список химических реагентов. Впервые описаны рентгеноструктурный и рентгенофлюоресцентный анализы, прибор для определения органического углерода (ТОС) в пробах шлама и керна, процесс хемотратиграфии и термохроматографии шлама, керна от С9 до С27, а также требования к отбору и упаковке образцов керна, шлама, буровой промывочной жидкости и газа. Предъявлены более строгие требования к изготовлению оборудования для газового каротажа - изменены технические требования к времени цикла суммарного газоанализатора и газового хроматографа, а также разрешения приборов, регламентирован тип датчика, описана методика калибровки, для хроматографа описана селективная способность. Изменения коснулись требований к газозоудшной линии (ГВЛ) и фильтрам в части времени прохождения смеси от дегазатора до ГВЛ. Впервые описаны регистрация данных в интервале С1-пС8 и изотопный анализ. Предъявлены более строгие требования к передаче информации – уточнены версии форматов передачи данных и стандартизированы мнемоники параметров. В настоящее время заканчивается согласование отраслевого стандарта с участниками экспертной группы и обработка результатов обратной связи от экспертов. Весной текущего года стандарт будет введён в действие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Национальный стандарт Российской Федерации. Скважины нефтяные и газовые. Геолого-технологические исследования. Общие требования. ГОСТ Р 53375-2016 (утв. приказом Ростехрегулирования от 19.08.2009 № 295-ст.).

ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАСЧЕТЫ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

***Чтоб трагичное мгновенье
Горняков бежало прочь,
Кто-то должен, без сомненья,
Рассчитать весь риск точь-в-точь.
Чтоб работало творенье
Для народа и страны,
Непременно к примененью
Инновации нужны!***

Доц. Павел Жиганов

УДК 622.144

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ВЕНТИЛЯТОРОВ ДЛЯ ГРАДИРЕН

Макаров¹ В. Н., проф., д.т.н., Алексеев¹ М. А., студент, Макаров¹ Н. В., зав. каф.,
Молчанов² М. В., руководитель стратегического проекта горного направления.

¹Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

²АО «Уралмеханобр», г. Екатеринбург, Россия

Одним из важнейших элементов в теплообменных технологических процессах являются градирни, в том числе сухого и влажного типа. Градирни, используемые в настоящее время, отличаются повышенной энергоемкостью, которая обусловлена низким КПД, используемых в них вентиляторов большой быстроходности. Отличаясь малым статическим давлением при больших значениях динамического давления, такие вентиляторы требуют высокого аэродинамического качества в проточной части, чему и посвящена статья. Проведенные исследования и испытания позволили создать аэродинамическую схему вентиляторной установки Г5,5 К8, имеющей на 14 % более высокий КПД по сравнению с вентиляторами итальянской фирмы Ilmed.

Ключевые слова: КПД, градирни, вентиляторной установки, энергоемкостью

OPTIMIZATION OF THE PARAMETERS OF THE FLOW PART OF FANS FOR AIR COOLING DEVICES FOR COOLING TOWERS

V. N. Makarov., M. A. Alekseev., N. V. Makarov., M. V. Molchanov.

Cooling towers, including dry and wet cooling towers, are one of the most important elements in heat exchange processes. The cooling towers currently in use are characterized by increased energy consumption due primarily to the low efficiency of the high-speed fans used in them. Characterized by low static pressure at high dynamic pressure values, these fans require high aerodynamic quality in the flow part, which is the subject of this article. The conducted research tests allowed us to create an aerodynamic scheme of the G5.5 K8 fan unit, which has a 14 % higher efficiency compared to the fans of the Italian company Ilmed.

Keywords: efficiency, cooling towers, fan installations, energy consumption

Существенное влияние на экономическую эффективность вентиляторов большой быстроходности, используемых для градирен, оказывают радиальные зазоры в привтулочной и периферийной областях. Наибольший рост потерь с увеличением зазора возникает на тыльной поверхности лопаток. Очень важно при расходах меньше расчетных учитывать, что повышенный радиальный зазор приводит к возникновению замкнутого отрыва потока, охватывающего весь шаг решетки. Изменение величины зазора влечет за собой перестроение потока по всей длине лопатки, оно тем интенсивней, чем больше удельная быстроходность вентилятора [1-3].

Анализ большой информационной базы исследования влияния радиального зазора на экономичность вентилятора от удельной быстроходности позволил получить формулу в виде:

$$\frac{\eta_b}{\eta_0} = \frac{\eta_3}{\eta_0} = 1 - 52 \bar{s} \bar{n}_y^{-1/2}, \quad (3)$$

где η_z, η_0 – КПД вентилятора с заданным и теоретически нулевым зазорами; $\bar{S}$ – относительный радиальный зазор, равный отношению радиального зазора к диаметру колеса.

На рис. 1 приведены результаты экспериментальных исследований зависимости относительного КПД вентилятора от удельной быстроходности при разных значения радиального зазора на периферии с коэффициентом детерминации $R^2 \geq 0,75$ (— теория, $\circ\circ\circ$ эксперимент), (---, $-\square-$, $-\square\square-$ теория, $\square\Delta\Diamond$ эксперимент). Из анализа приведённых графиков видно, что при относительном радиальном зазоре радиальном зазоре $\bar{S} = 0,04$ падение коэффициента полезного действия вентиляторной установки с удельной быстроходностью $n_y = 400$ составляет не более 7 %, в то время как для вентиляторов с быстроходностью $n_y = 40$ – не менее 15 %. Снижение негативного влияния радиального зазора на КПД вентилятора обусловлено снижением степени реактивности рабочего колеса [4].

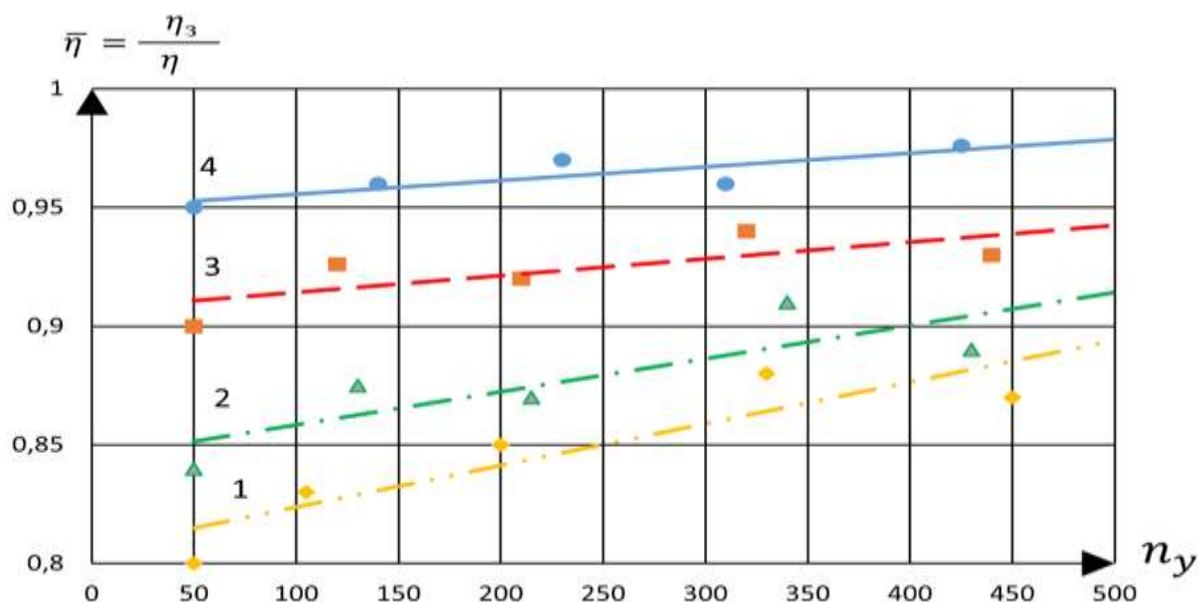


Рис. 1. Зависимость относительного КПД вентилятора от удельной быстроходности при: 1 – $\bar{S} = 0,01$; 2 – $\bar{S} = 0,02$; 3 – $\bar{S} = 0,03$; 4 – $\bar{S} = 0,04$

Для снижения негативного влияния радиального зазора на экономичность вентиляторов большой быстроходности целесообразно использовать устройства предотвращения образования зоны замкнутого кольцевого вихря на периферии рабочего колеса за счет ступенчатого или скошенного утонения профиля лопатки, при этом скос делается на тыльной стороне лопатки [5, 6]. Скос концевой части лопаток со стороны выпуклой поверхности облегчает перетекание потока через радиальный зазор, вызывая снижение давления вентилятора. Однако перемещающийся под действием центробежных сил по тыльной поверхности лопатки пограничный слой, достигнув указанного скоса, не в состоянии резко изменить траекторию своего движения, в результате чего, смешиваясь с основным потоком в проточной части рабочего колеса и перемещаясь вместе с ним, способству-

ет снижению потерь давления и, как результат, повышению КПД вентилятора.

Из анализа рис. 2 видно, что с увеличением удельной быстроходности негативное влияние радиального зазора при наличии скоса снижается, при этом дисперсия коэффициентов регрессии $\sigma^2 \leq 0,27$ ($\square\Delta\Diamond$, ---, - $\square$ -, - $\square\square$ - эксперимент; $\circ\circ\circ$, — график регрессии). Более того, при высоте скоса либо резкого утонения концевых участков лопаток на высоту от 2 до 4 % длины лопаток происходит повышение КПД относительно его номинального значения.

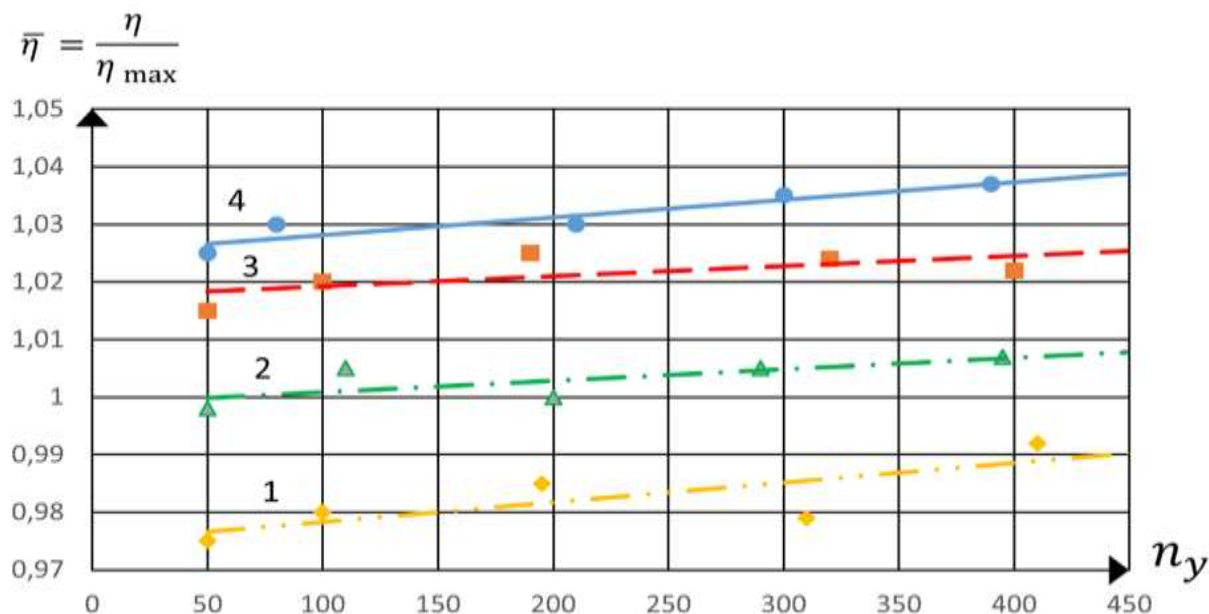


Рис. 2. Зависимость КПД вентиляторной установки от удельной быстроходности при утонении скоса периферийной части лопатки рабочего колеса: 1 — $h = 0,01$; 2 — $h = 0,02$; 3 — $h = 0,03$; 4 — $h = 0,04$

ВЫВОДЫ

Рост радиальных зазоров на периферии и в привтулочной области лопаток вентиляторов большой быстроходности, используемый для градирен менее существенно влияет на их экономичность, чем у вентиляторов малой быстроходности. Увеличение радиального зазора в 4 раза (с $\bar{S} = 0,01$ до $\bar{S} = 0,04$) снижает КПД вентилятора с удельной быстроходностью $n_y = 450$ на 6,2 %, соответственно, в то время как для вентилятора с $n_y = 50$ — на 13 %, соответственно.

Утонение и скос периферийной части лопаток рабочего колеса на длине $\bar{h} = 0,02$ повышает КПД вентилятора с $n_y = 400$ на 4,5 %.

Негерметичность втулки рабочего колеса вентилятора большой быстроходности существенно влияет на его экономичность. Отсутствие обечайки втулки рабочего колеса, сквозные отверстия в ней относительной площадью $F = 0,2$ от проходного сечения вентилятора с $n_y = 450$ снижают его КПД на 20 %.

Промышленные испытания вентиляторной установки для градирен для Г5,5 К8 проведённые на БМЗ ПАО «Татнефть», подтвердили повыше-

ние КПД на 14 % по сравнению с наиболее совершенными вентиляторами итальянской фирмы Immed.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рубцова И.Е., Мочалин Д.С., Крюков О.В. Основные направления и задачи энергосбережения при реконструкции КС. Энергосбережение и автоматизация электрооборудования компрессорных станций: монография / Под ред. О. В. Крюкова. – Н. Новгород: Вектор ТиС, 2012. – Т. 3. – 572 с.
2. Ключев Р.В., Егорова Е.В., Босиков И.И., Цидаев Б.С. Оценка использования эффективных технологий для повышения устойчивого развития системы нефтегазового комплекса // Устойчивое развитие горных территорий. – 2018. – Т. 10, №3(37). – С. 392-403. – doi.org/10.21177/1998-4502-2018-10-3-392-403.
3. Мигачев А.А., Потемкин В.А., Степашкин И.П. Параметрическая идентификация аппарата воздушного охлаждения газа как объекта управления // Актуальные исследования гуманитарных, естественных, общественных наук: Материалы VIII Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. – Новосибирск: ООО «ЦРНСИ», 2016. – С. 23-28.
4. Брусиловский И.В. Аэродинамический расчёт осевых вентиляторов. – М.: Машиностроение, 1986. – 288 с.
5. Shivani Kaustubh Chitale, Pranjal Nitin Jadhav, Snehal Suresh Dhoble, Dr. Mr. Satyajeet deshमुख parameters affecting efficiency of centrifugal pump a review // International Journal of Scientific Research in Science and Technology. – 2021. – Vol. 8, Issue 6. – P. 49-58. doi.org/10.32628/IJSRST218573.
6. Bai Y., Appiah D., Tao Y. Computational turbulent flow characteristics in a centrifugal pump // AIP Advances. – 2022. – Vol. 12, Issue 7. – P. 075025-1-075025. doi/org:10.1063/5.0100915.

УДК 622.232

ВЛИЯНИЕ ПОДВЕСКИ НА ПЛОЖЕНИЕ КОВША ДРАГЛАЙНА

Брозовский С. Ю.^{1,2}, аспирант, зам. гл. конструктора, Шестаков В. С.¹, проф.

¹ Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

² ОАО «Трансмаш», г. Екатеринбург

Рассмотрена методика определения параметров подвески ковша экскаватора-драглайна, для которой разработана математическая модель, алгоритм и программа для ЭВМ на алгоритмическом языке Visual Basic. Особенностью расчета параметров упряжи ковша экскаватора является присутствие гибких связей – канатов. Наличие канатов и достаточно сложная конструкция упряжи затрудняет процесс расчета параметров - невозможно получить математическую зависимость, которая обеспечила бы вычисление угла наклона ковша в зависимости от усилий в канатах подъема, тяги и от углов их наклона. Предложен поисковый алгоритм, включающий три цикла для поиска положения осей соединения подъемных канатов с подъемной цепью, тяговых канатов с тяговой цепью, угла наклона ковша по условию равенства заданной длины разгрузочного каната и расчетного его значения, определенного по положениям ковша и указанных осей.

Ключевые слова: экскаватор, драглайн, ковш, упряжь, усилие, модель.

EFFECT OF SUSPENSION ON DRAGLINE BUCKET POSITION

Brozovsky S.Yu., Shestakov V.S.

The article considers the method of determining the parameters of the dragline excavator bucket suspension, for which a mathematical model, algorithm and computer program in the Visual Basic algorithmic language have been developed. A feature of calculating the parameters of the excavator bucket harness is the presence of flexible connections - ropes. The presence of ropes and a fairly complex design of the harness complicates the process of calculating the parameters - it is impossible to obtain a mathematical relationship that would ensure the calculation of the bucket tilt angle depending on the forces in the lifting and traction ropes and on the angles of their tilt. A search algorithm is proposed that includes three cycles for finding the position of the axes of the connection of the lifting ropes with the lifting chain, traction ropes with the traction chain, the bucket tilt angle according to the condition of equality of the specified length of the unloading rope and its calculated value determined by the positions of the bucket and the specified axes.

Keywords: excavator, dragline, bucket, harness, effort, model

Параметрами подвески ковша драглайна являются: длины подъемных и тяговых цепей, длина разгрузочного каната, координаты точек крепления цепей и канатов к ковшу [1, 2]. От подвески зависит процесс копания, разгрузки и нагруженность ковша.

Для определения влияния подвески по рис. 1 составлена математическая модель и программа для решения на ЭВМ на алгоритмическом языке. За начало координат при составлении математического описания принята точка В – ось крепления подъемных цепей к ковшу.

Исходными данными служат:

- конструктивные размеры ковша, задаваемые координатами точек (А, R, С, D, E, H, T, K, M, W на рис. 1) относительно принятой системы координат при горизонтальном расположении днища ковша;
- конструктивные параметры: длина подъемных ($L_{п.ц}$) и тяговых ($L_{т.ц}$) цепей, длина разгрузочного каната ($L_{рк}$), диаметр разгрузочного шкива ($d_{рш}$), длина тяги DE;

- силовые параметры усилие в подъемных ($F_{\text{пк}}$) и тяговых ($F_{\text{тк}}$) канатах, углы наклона подъемных ($\beta_{\text{п}}$) и тяговых ($\beta_{\text{т}}$) канатов при транспортировании ковша [3], сила тяжести груженого ковша ($G_{\text{кг}}$).

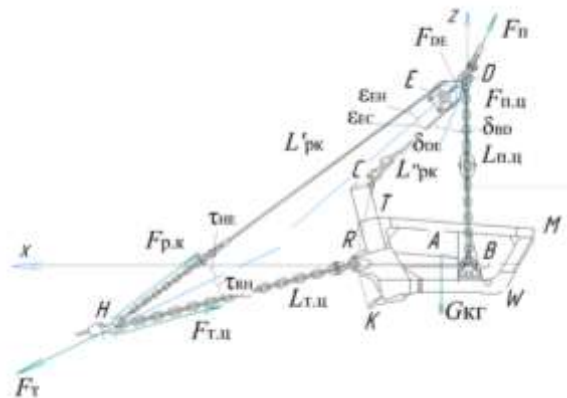


Рис. 1. Схема ковша

По исходным данным и задаваемому в процессе решения поисковой системой углу наклона ковша определяются координаты точек расчетной схемы используя математическую модель.

Для «жесткой» конструкции ковша определение координата не вызывает затруднений, но оси H , D , E подвешиваются на гибких канатах и цепях, получить математические зависимости для определения их координат не удалось.

Для поиска положений осей H , D , E решено было использовать поисковую систему, используя ограничения; длина разгрузочного каната должна быть равна заданной (по нему определяется положение оси H); момент от усилия в разгрузочном канате должно превышать момент от силы тяжести ковша (по нему определяется угол наклона ковша); должно соблюдаться условие равновесия в узле D (по нему определяется положение оси D).

В алгоритме поиск возможного решения, удовлетворяющего всем *ограничениям* выполняется программным модулем, включающем циклы:

1. Цикл 1 (внешний) - поиск угла наклона подъемной цепи, условие выхода – достижение равновесия усилий в узле D.
2. Цикл 2 (вложенный в 1) - поиск угла наклона ковша, условие выхода – превышение удерживающего момента от усилия в разгрузочном канате и тяговых цепях над опрокидывающим моментом от силы тяжести ковша.
3. Цикл 3 (внутренний, вложенный в 2) - поиск положения оси H изменением угла наклона тяговых цепей, условие выхода – достижения заданной длины разгрузочных.

В представленный алгоритм входят выражения для расчета координат (это простые геометрические выражения - в статье они не приведены) и усилий в тяговой и подъемной цепях, разгрузочном канате и других элементах упряжи ковша.

Опрокидывающий и удерживающий моменты рассчитываются по усилиям и плечам их действия относительно оси.

$$M_{\text{опр}} = G_{\text{кг}} \cdot L_{BA'} \quad (1)$$

$$M_{\text{уд}} = F_{\text{тц}} \cdot L_{BR'} + F_{\text{рк}} \cdot L_{BC'} \quad (2)$$

где $L_{BA'}$ – плечо действия силы тяжести груженого ковша $G_{\text{кг}}$ относительно оси B ; $L_{BR'}$, $L_{BC'}$ – плечи сил $F_{\text{тц}}$ и $F_{\text{рк}}$.

$$L_{BC'} = L_{BC} \sin(\angle CBx + \gamma_{\text{рк1}}) \quad (4)$$

$$L_{BR'} = L_{BR} \sin(\angle HRx - \angle HBr) \quad (5)$$

Включим (1, 2) в условие цикла 2

$$(F_{\text{рк}} L_{BC'} - F_{\text{тц}} L_{BR'}) > G_{\text{кг}} L_{BA'} \quad (3)$$

Сумма сил в узле H

$$\vec{F}_T = \vec{F}_{\text{тц}} + \vec{F}_{\text{рк}} \rightarrow F_T = F_{\text{тц}} \cos \tau_{RH} + F_{\text{рк}} \cos \tau_{HE} \quad (4)$$

Сумма сил в узле D

$$\vec{F}_D = \vec{F}_{\text{тц}} + \vec{F}_{DE} \rightarrow F_D = F_{\text{тц}} \cos \delta_{BD} + F_{DE} \cos \delta_{DE} \quad (5)$$

Сумма сил в узле E

$$\vec{F}_{DE} = 2\vec{F}_{\text{рк}} \rightarrow F_{DE} = F_{\text{рк}} \cos \varepsilon_{EH} + F_{\text{рк}} \cos \varepsilon_{EC} \quad (6)$$

Таким образом, составлена система уравнений сил, включает неизвестные $F_{\text{тц}}$, $F_{\text{тц}}$, $F_{\text{рк}}$ – систему можно решить

$$F_{\text{тц}} = F_T / [\cos \tau_{RH} + (\frac{\sin \tau_{RH}}{\sin \tau_{HE}}) \cos \tau_{HE}] \quad (7)$$

$$F_{\text{рк}} = F_{\text{тц}} \sin \tau_{RH} / \sin \tau_{HE} \quad (8)$$

$$F_{\text{тц}} = F_{DE} \sin(\delta_{DE}) / \sin(\delta_{BD}) \quad (9)$$

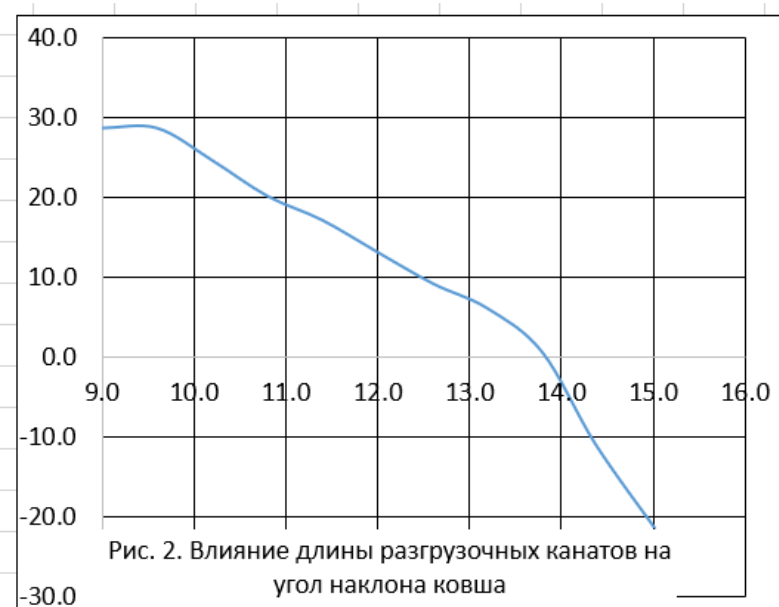


Рис. 2. Влияние длины разгрузочных канатов на угол наклона ковша

Для решения составлена программа для ЭВМ на алгоритмическом языке Visual Basic и выполнены исследования для экскаватора ЭШ-20.90. Результаты исследования влияния на угол наклона ковша длины подъемных канатов (изменение от 9 м до 15 м) при положении ковша на радиусе 50 м от оси вращения и на глубине 20 м от уровня стояния приведены на

рис. 2.

На рис. 3 приведены результаты исследований зависимости угла наклона от положения ковша в рабочей зоне при длине разгрузочного каната 11,5 м.

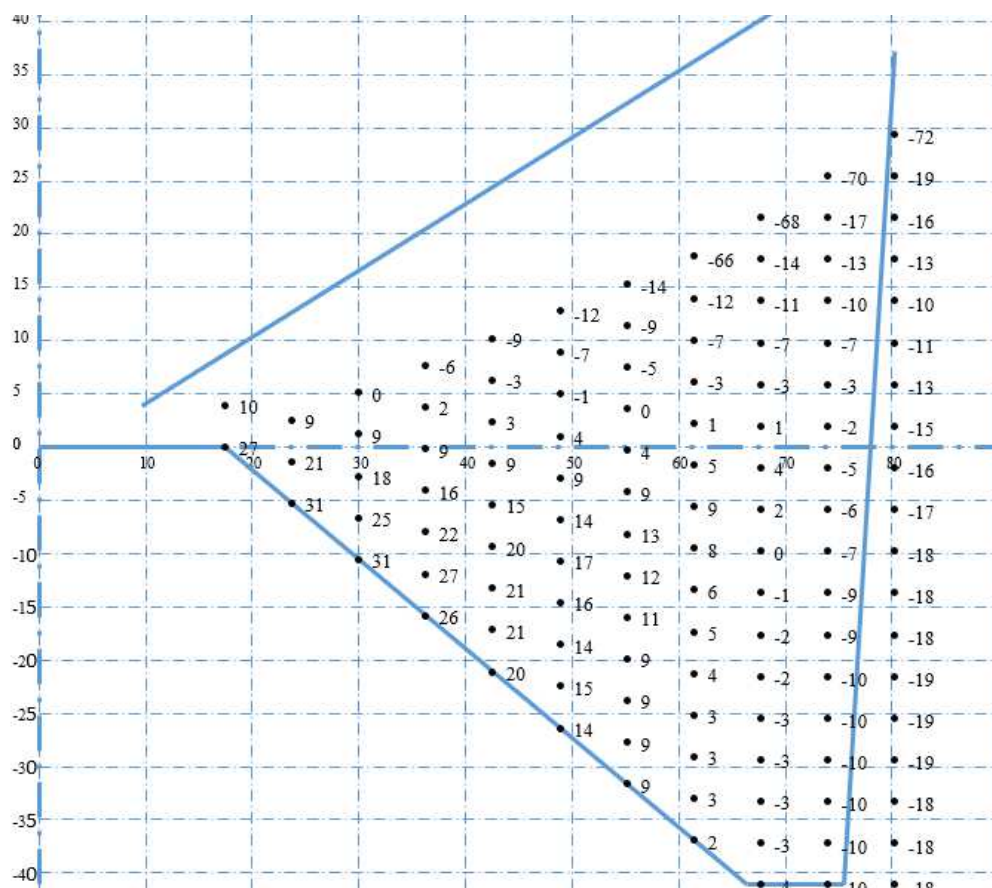


Рис. 3. Изменение угла наклона ковша в пределах рабочей зоны

Выводы. Разработанная модель, алгоритм и программный модуль позволяют определить длину каната, обеспечивая рациональные условия эксплуатации.

Список литературы

1. Лагунова Ю. А., Комиссаров А. П., Шестаков В. С. Проектирование карьерных экскаваторов. М.: Инновационное машиностроение, 2017. - 228 с.
2. Лагунова Ю.А., Хорошавин С.А., Калянов А.Е. , Буялич К.Г. Повышение износоустойчивости щек ковшей экскаватора-драглайна // Горное оборудование и электромеханика. 2024. № 1 (171). С. 24-30
3. Брозовский С. Ю, В. С. Шестаков, Лагунова Ю.А., Франц Т.П. Анализ нагрузки стрелы экскаватора драглайна // Горное оборудование и электромеханика. - № 1. – 2024, С. 11-17

УДК 621.271.022

НЕЙРО-НЕЧЕТКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ ГРАНСОСТАВА РАЗВАЛА ПРИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТАХ

Великанов В. С.^{1,2,3} проф. д.т.н., Ситдикова С. В.² ст. препод,

Тельминов Н.С.¹ студент, Дремин А.В.³, ген. директор

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

²«Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург

³ООО «ДАВТЕХ», г. Екатеринбург

Основная цель проведения буровзрывных работ состоит в формировании горной массы, обладающей необходимыми характеристиками для бесперебойного и эффективного взаимодействия с горной техникой на последующих этапах разработки месторождения с учетом технико-экономических затрат. Формирование развала отбитой горной породы взрывом влияет на последующие технологические переделы горного производства, а следовательно, на себестоимость конечной продукции горного предприятия. Целью исследования: явилась разработка математической модели прогнозирования и анализа гранулометрического состава взорванных пород.

Ключевые слова: экскаватор, производительность, развал, грансостав

NEURAL-FUZZY MODELING AS A TOOL FOR PREDICTING THE GROUND COMPOSITION OF CAMBER IN BLASTING OPERATIONS

Velikanov V. S., Sitdikova S. V., Telminov N.S., Dremin A. V.

The main objective of drilling and blasting operations is to form a rock mass with the necessary characteristics for uninterrupted and effective interaction with mining equipment at subsequent stages of deposit development, taking into account technical and economic costs. Formation of the collapse of the broken rock by blasting affects subsequent technological stages of mining production, and, consequently, the cost of the final product of the mining enterprise. The objective of the study: was to develop a mathematical model for forecasting and analyzing the granulometric composition of blasted rocks.

Keywords: excavator, performance, camber, grain composition

В мире открытым способом добывается более 80 % твердых полезных ископаемых. Из года в год растет количество добываемой горной массы, а также увеличиваются масштабы карьеров. Одним из решающих условий дальнейшего совершенствования производства является обеспечение горнодобывающей промышленности высокопроизводительным и надежным оборудованием [1-4]. Эксплуатация технологических машин на горных предприятиях осуществляется при воздействии факторов различной природы, обусловленные конструктивными и функциональными особенностями (условиями эксплуатации) и случайными внешними воздействиями, которые приводят к изменениям их технического состояния. К характерным факторам следует отнести нагрузки от механического и термического воздействия, параметры прочности материала, геометрические размеры, уровень технического обслуживания, ремонта и др. Эти факторы приводят к постепенному ухудшению технического состояния оборудования во времени. Статистика по вынужденным остановкам карьерных экскаваторов составляет порядка 20–30 % их фонда рабочего времени, простои обуслов-

лены необходимостью замены физически изношенных деталей (рис. 1). Коэффициент использования экскавационного оборудования в среднем на открытых горных работах составляет 0,7–0,8 % [1–4].

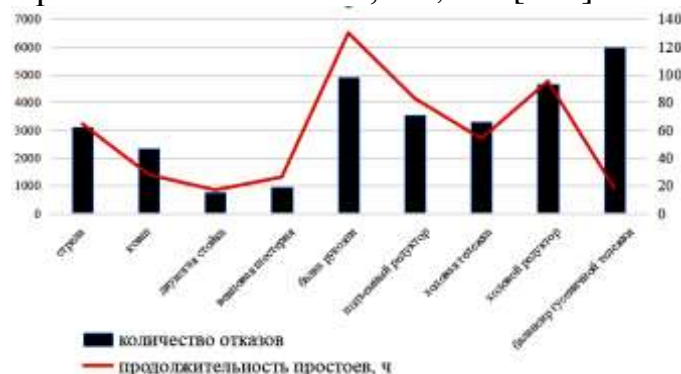


Рис. 1 Количество отказов и продолжительность простоев ЭКГ

При разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом более 70 % всего объёма добычи скальных и полускальных пород на карьерах производится с применением буровзрывных работ. При производстве массовых взрывов необходимо обеспечить следующие требования: заданный гранулометрический состав взорванной горной массы; проработка подошвы уступа; минимальное нарушение законтурной части массива; формирование компактного навала отбитой горной массы; защита близко расположенных объектов от сейсмического воздействия взрыва, воздействия воздушной ударной волны и разлёта кусков породы [2]. В работе [2], проведен анализ данных производительности экскаватора WK-35, установлено существенное влияние качества подготовленного забоя экскаватора, по данным хронометража она снижается в 1,5 раза при увеличении средневзвешенного куска с 350 до 550 мм.

Прогнозирование гранулометрического состава преследует одну из двух основных целей: проверка соответствия крупности продукта установленным требованиям и контроль изменения размерных характеристик в развале кусков во времени для использования в качестве обратной связи при управлении БВР при добыче полезных ископаемых.

Ключевые факторы, влияющие на формирование грансостава развала горной массы, условно можно разделить на две группы: природные (P_1) – исходные параметры взрывающегося массива горных пород (свойства горной массы); технологические (P_2) – определяют способ и средства воздействия на массив (проектные параметры БВР) (табл.). К природным относятся характеристики массива горных пород (физико-механические свойства пород, направление трещиноватости, размер отдельности в массиве, тектонические нарушения, геометрия взрывающегося блока и т. д.), в соответствии с приняты обозначением будут иметь индекс - $P_{1,i}$. Технологические параметры и показатели ориентированы и зависят от природных и могут быть представлены несколькими подгруппами: - к первой относятся параметры размещения заряда в массиве (диаметр и высота заряда, сетка бурения, тип взрывчатого вещества (ВВ), которые определяют удельный расход ВВ; ко

второй можно отнести последовательность и направление инициирования скважинных зарядов ВВ, средства инициирования и др. - $P_{2,i}$.

Таблица. Разнородные параметры и показатели для создания нечеткого математического описания (часть массива данных)

Тип породы, $P_{1,1}$	Удельная плотность, $P_{1,2}$	Расстояние между зарядами, $P_{2,1}$	Длина забойки, $P_{2,2}$	Длина заряда, ВВ $P_{2,3}$	Высота, $P_{2,4}$	Масса ВВ, $P_{2,5}$	Диаметр скважины, мм $P_{2,6}$	Удельный расход ВВ, $P_{2,7}$
1	4,17	7	4	8,3	12,3	365	105	0,63
1	4,17	7	4	9,5	13,5	418	160	0,72
1	4,17	7	5	18,1	15,1	475	190	0,82
2	1,85	6,5	5	11,2	16,2	493	214	0,92
2	1,85	6,5	5	11,6	16,6	518	250	0,95
3	4,33	7	8,7	8,8	17,5	680	320	1,04
3	4,33	7	5	12,7	17,7	559	105	0,97
3	4,33	7	8,4	8,8	17,2	600	160	1,04
...	...	...	...	...	...	...	...	...
5	4,3	6,5	9	7,4	16,4	500	320	0,93

Накопленный опыт [5-7] и анализ различных методов в определении весовых коэффициентов позволили, исходя из специфики решаемой проблемы, предложить в качестве основного метода исследований - нечеткий аналитический иерархический процесс (Fuzzy Analytic Hierarchy Process, далее F-АНР). В соответствии с этапами выбранного метода выполнен расчет по определению весовых коэффициентов параметров и показателей. Результаты поэтапной обработки полученной информации методом F-АНР приведены (рис. 2), промежуточные данные не представлены.

Процесс создания нечеткой модели выполняется в четыре этапа: структуризация предметной области и построение нечеткой модели; выполнение вычислительных экспериментов с нечеткой моделью; применение результатов вычислительных экспериментов; коррекция и доработка нечеткой модели. Вычислительные эксперименты проводились с использованием специализированного программного обеспечения FIS-редакторе программы Matlab, ориентированного на решение задач моделирования с использованием теории нечетких множеств (рис. 3).

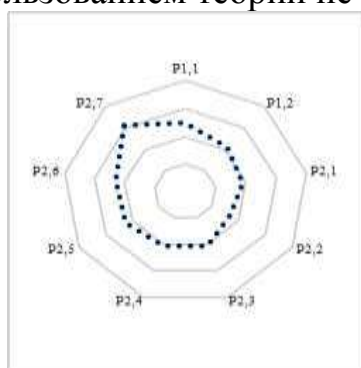


Рис. 2. Результаты ранжирования параметров и показателей

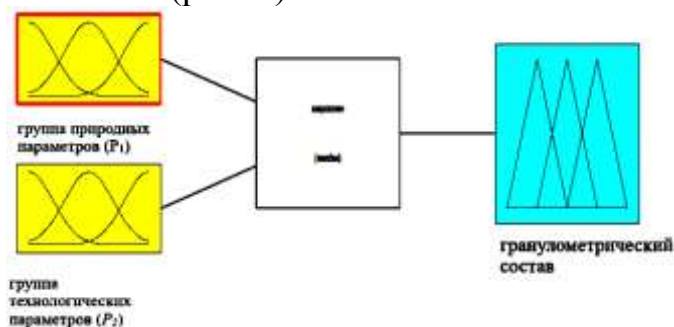


Рис. 3. Задание входных и выходной лингвистических переменных модели

Таким образом, разработанная математическая модель на основе теории нечетких множеств для оценки влияния разнородных параметров и показателей, а именно природных и технологических на параметры развала горной массы, показала достаточно высокую степень ее адекватности реальным данным проведенных замеров с использованием программно-

аппаратного комплекса компании «Давтех» в условиях горных предприятий УрФО, относительное расхождение которых не превышает 5-7 %.

Список литературы

1. Анализ дробления с использованием цифровой обработки изображений и эмпирической модели (Kuz-Ram): сравнительное исследование / Саадун А., Фредж М., Букарм Р., Хаджи Р. // Записки Горного института. 2022. Т. 257. С. 822–832.
2. Изучение влияния гранулометрического состава взорванной горной массы на производительность экскаватора WK-35 / Маринин М. А., Рахманов Р. А., Аленичев И. А., и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2023. №6. С. 111–125.
3. <https://www.vnedra.ru/tehnologii/optimizacziya-fragmentaczii-vzorvannoj-gornoj-massy-8638/>
4. Дремин А. В., Великанов В. С. Постановка многокритериальной задачи анализа и прогнозирования гранулометрического состава взорванных горных пород // Горная промышленность. 2023. № 5. С. 52–60.
5. Великанов В. С. Использование нечеткой логики и теории нечетких множеств для управления эргономическими показателями качества карьерных экскаваторов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. № 9. С.57-62
6. Шабанов А. А., Великанов В. С. Оценка одиночных и групповых эргономических показателей горнотранспортного оборудования на основе нечетких моделей // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № S5. – С. 326–332.
7. Великанов В. С., Шабанов А. А. Использование нечеткого логического вывода для оценки эргономических показателей карьерных экскаваторов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. № S2. С. 145–152.

УДК 621.271.022

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЙ В КОВШЕ ЭКГ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СВОЙСТВ РАЗВАЛА ГОРНОЙ МАССЫ

Великанов В. С.^{1,2,3} проф. д.т.н., Ситдикова С. В.² ст. преподаватель,

Тельминов Н.С.¹ студент, Дремин А.В.³, ген. директор

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

²«Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург

³ООО «ДАВТЕХ», г. Екатеринбург

По полученным результатам проведенного исследования выявлена зависимость влияния гранулометрического состава в забое на вид изнашивания ковша экскаватора (воздействие на определенный участок), при работе с крупнокусковыми скальными породами основное воздействие породы приходится на нижнюю часть ковша и зубьев, а при мелкокусовой породе изнашивание равномерно распределяется как на нижнюю, так и верхнюю часть. Это обстоятельство играет важную роль в выборе технологического решения по повышению износостойкости ковшей карьерных экскаваторов.

Ключевые слова: экскаватор, развал, грансостав.

STUDY OF STRESS DISTRIBUTIONS IN THE EKG BUCKET DEPENDING ON THE PROPERTIES OF THE ROCK MASS COLLISION

Velikanov V. S., Sitdikova S. V., Telminov N.S., Dremine A. V.

Based on the obtained results of the conducted study, the dependence of the influence of the granulometric composition in the face on the type of wear of the excavator bucket (impact on a certain area) was revealed; when working with large-piece rock, the main impact of the rock falls on the lower part of the bucket and teeth, and with small-piece rock, wear is evenly distributed both on the lower and upper parts. This circumstance plays an important role in choosing a technological solution to increase the wear resistance of quarry excavator buckets.

Keywords: excavator, performance, camber, grain composition

В процессе работы карьерного экскаватора непосредственный контакт с горной массой в забое осуществляет рабочий орган (ковш). Таким образом, особенности взаимодействия ковша с породой и гранулометрический состав развала определяют схему работы и характер рабочего процесса. В научно-технической литературе подробно рассматриваются конструкции ковшей, применяемых на экскаваторах, которые отличаются большим разнообразием в зависимости от назначения, способов изготовления и разгрузки. Ковши прямых лопат, в зависимости от типа соединения с рукоятью, делятся на две категории: с шарнирным и жестким соединением. Большинство карьерных экскаваторов используют ковши с шарнирным соединением. В случае жесткого соединения концевая отливка рукояти служит задней стенкой ковша. Классификация типов ковшей с емкостью более четырех метров кубических осуществляется согласно ОСТ 24.072.06–80.

Основными параметрами, влияющими на образование трещин в металлоконструкциях рабочего органа, являются возникновение резких перегрузок вследствие столкновения ковша с негабаритами, с массивом горных пород, с не взорванными естественными отдельностями и при аварийном

падении ковша (рис. 1) [1-4].



Рис. 1. Спектр относительных частот возможных инцидентов ковша

Для оценки воздействия качества подготовки забоя на эксплуатационные показатели и техническое состояние металлоконструкций экскаваторов на одном из горнодобывающих предприятий был проведён производственный эксперимент. В рамках этого эксперимента определялись параметры кусковатости взорванной горной массы и осуществлялся контроль за появлением трещин в металлоконструкциях. В качестве аппаратно-программного сопровождения экспериментальных исследований использовано отечественное оборудование компании «Давтех», разработанное в рамках программы импортозамещения высокотехнологичного оборудования. В ПАК реализован следующий способ, защищенный патентом [5] определения гранулометрического состава, который заключается в том, что: посредством стереоскопической камеры получают стереоизображение развала горной породы; на основе полученного стереоизображения развала строят объемный рельеф поверхности развала, представляющий собой набор дальностей от матрицы стереоскопической камеры до поверхности выбранных участков развала горной породы и соответствующих им координат на изображении (рис. 2).

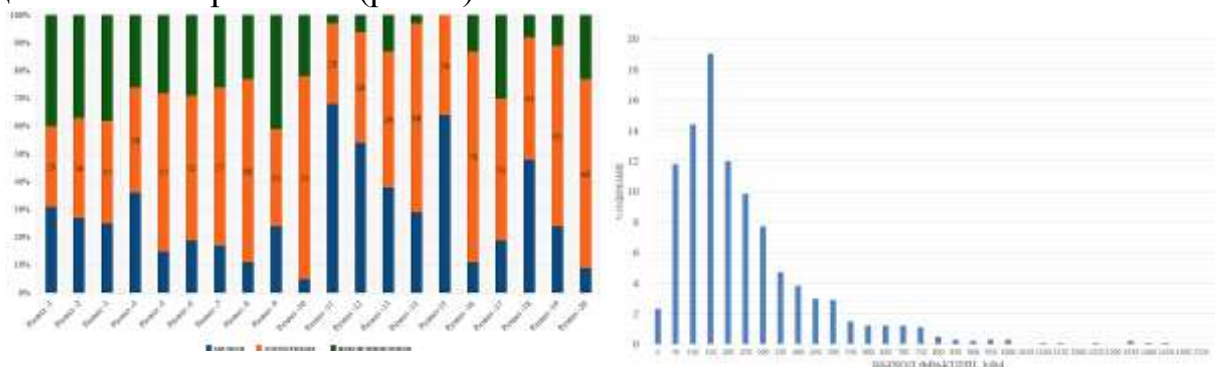


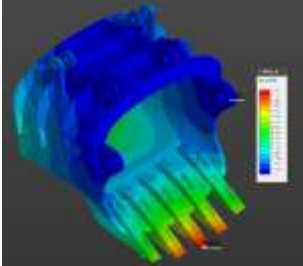
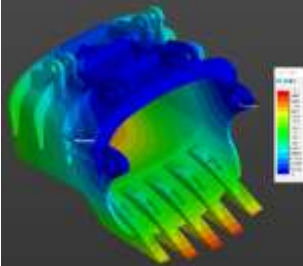
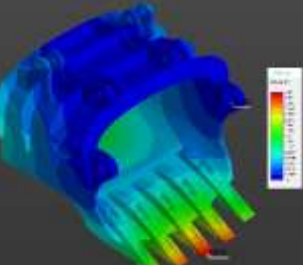
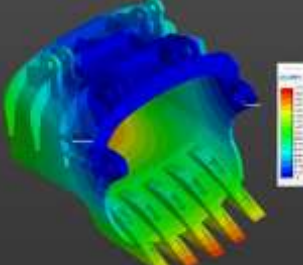
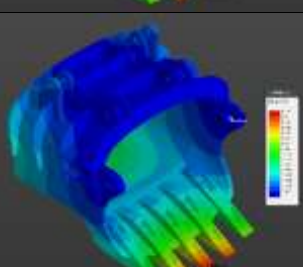
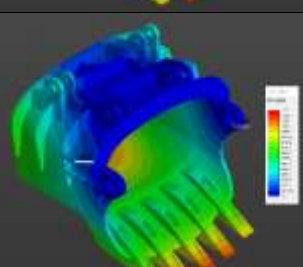
Рис. 2. Результаты производственного эксперимента на ГДП УрФО

Метод конечных элементов является одним из наиболее эффективных инструментов для анализа напряженно-деформированного состояния элементов металлоконструкций. С его помощью можно быстро и точно оценить прочность и долговечность конструкций, что особенно важно для карьерных экскаваторов, работающих в тяжелых горно-геологических ус-

ловиях. Преимуществом метода конечных элементов является возможность учитывать различные факторы, влияющие на работу конструкции, такие как геометрия, материалы, внешние нагрузки и условия эксплуатации. Кроме того, метод конечных элементов обладает высокой точностью и надежностью результатов. При правильном подходе к моделированию и анализу можно получить детальную картину напряженно-деформированного состояния конструкции и предсказать возможные проблемы до их возникновения [6-9].

Согласно полученным результатам настоящего исследования ЭКГ-10 (табл.) можно выявить зависимость влияния гранулометрического состава в забое на вид изнашивания ковша экскаватора.

Таблица. Зависимость НДС ковша ЭКГ-10
при динамических нагрузках от грансостава

фракционный размер куска в развале, мм	фазы цикла экскавации	
	начало внедрение ковша в породу	финальная
до 200		
до 130		
до 95		

Таким образом, при работе со скальными породами основное воздействие породы приходится на нижнюю часть ковша и зубьев, а при мелкокусовой породе изнашивание равномерно распределяется как на нижнюю, так и верхнюю часть. Это обстоятельство играет важную роль в выборе технологического решения по повышению износостойкости ковшей карьерных экскаваторов.

Список литературы

1. Великанов В. С. Повышение эффективности эксплуатации карьерных гусеничных экскаваторов с оборудованием «прямая механическая лопата»: специальность 05.05.06 «Горные машины»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук – Екатеринбург, 2009. 18 с.
2. Великанов В. С., Исмагилов К. В. Проектирование отечественных мехлопат с учетом требований рынка горной техники и эргономических показателей // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 2. С. 30–32.
3. Великанов В. С. Реализация подходов по совершенствованию эргономических показателей карьерных экскаваторов. Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, 2011. 85 с.
4. 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.
5. Дремин А. В., Марков Ю. В. Способ определения гранулометрического состава развала горной массы. Патент № 2 807 542 РФ, МПК G01N 33/24, E21C 41/26. № 2023113622; Заявл. 25.05.2023; Оpubл. 16.11.2023. Бюл. № 32.
6. До Д. Ч. Оценка нагруженности основных металлоконструкций экскаваторов ЭКГ-10, работающих на угольных разрезах Вьетнама: специальность 05.05.06 «Горные машины»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, 2022. 104 с.
7. Эффективность функционирования карьерного экскаватора как эргатической системы / Д. А. Шибанов, С. Л. Иванов, Е. И. Шешукова, Е. С. Недашковская // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2023. № 11–1. С. 144–158.
8. Великанов, В. С. Повышение эффективности эксплуатации карьерных гусеничных экскаваторов с оборудованием «прямая механическая лопата»: специальность 05.05.06 «Горные машины»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Екатеринбург, 2009. 119 с.
9. Хромой М. Р., Свиначук В. П., Свиначук П. В. Изнашивание вооружения ковша карьерного одноковшового экскаватора // Научный вестник Московского государственного горного университета. 2010. № 8. С. 106–113.

УДК 681.326.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ И СИМУЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ РАБОЧЕГО КОЛЕСА ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Зотов В.В., канд. техн. наук, **Мнацакян В.У.**, **Дятлова Е.В.**

Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС

В горной промышленности центробежные насосы занимают важное место, обеспечивая эффективный процесс водоотлива на различных этапах горных работ. Результаты об их износе мы получаем по факту эксплуатации. Однако предварительное компьютерное моделирование нагрузок является одним из основных этапов при проектировании и разработки рабочих колес насос. Благодаря симуляционным моделям можно визуально посмотреть точки наибольшего напряжения, скорости и давления на рабочее колеса, и исходя из полученных значений, рекомендовать материал отливки, способы упрочнения точек напряжения на лопастях насоса.

Ключевые слова: центробежные насосы, рабочее колесо центробежных насосов, Solidworks, математические методы моделирования.

MODELING AND SIMULATION ANALYSIS OF CENTRIFUGAL PUMP IMPELLER

Zotov V.V., **Mnatsakanyan V.U.**, **Dyatlova E.V.**

In the mining industry, centrifugal pumps occupy an important place, ensuring an efficient drainage process at various stages of mining operations. We receive the results of their wear upon operation. However, preliminary computer simulation of loads is one of the main stages in the design and development of pump impellers. Thanks to the simulation models, it is possible to visually view the points of greatest stress, speed and pressure on the impellers, and based on the values obtained, recommend the casting material and methods for strengthening the stress points on the pump blades.

Keywords: centrifugal pumps, impeller of centrifugal pumps, Solidworks, mathematical modeling methods.

Насосные установки (НУ) занимают важное место в эффективной и рациональной работе на всех этапах горного производства, выполняя разнообразные функции, такие как:

- откачка воды из скважин, шахт, карьеров (обеспечение водоотлив);
- подача воды для технических нужд (обеспечение водоснабжения);
- перемещение пульты, руд или шламов (обеспечение транспортирования горной массы);
- подача воды для флотации и промывок (обеспечение процессов переработки и обогащения);
- подача воды для систем пылеподавления (обеспечение правил безопасности хранения и транспортировки пылевидных грузов).

В свою очередь, на разных этапах эксплуатации насосы подвергаются различной степени износа их рабочего органа (рабочего колеса). Наиболее быстрому и характерному износу рабочие колеса подвергаются на этапах транспортирования горной массы, водоотлива, перекачки хими-

ческих реагентов, что связано с гидроабразивным износом поверхности рабочего колеса и кавитацией [1-3].

Опыт эксплуатации насосов показывает, что наиболее сильному износу подвергаются лопасти рабочих колес у входной кромки и на выходном участке с рабочей стороны. Потеря геометрии профиля колеса существенно влияет на изменение технических характеристик насоса, в связи с чем, рассматриваемый узел можно считать уязвимым [4, 5].

Эти обстоятельства приводят к необходимости изыскания и разработки эффективных конструкторско-технологических и иных предложений, направленных на повышение ресурса рабочих колес, которые рассматриваются более подробно в работах Зотова В.В., Мнацаканян В.У., Базлина М.М., Лакшинской В.С и Дятловой Е.В [6-8].

В свою очередь, при выборе подхода к модернизации и оптимизации с имеющимися характеристиками конструкции и отливки стоит, в первую очередь, произвести расчеты, чтобы понимать, насколько насос подвержен износу, какие части конструкции имеют наибольшие точки напряжения и износа [9, 10].

Наиболее эффективным методом исследования этих параметров является компьютерное моделирование (симуляция).

В свою очередь, симуляционный анализ авторы разделили на следующие шаги:

- анализ рабочих чертежей насоса.
- построение трехмерной геометрической модели в CAD-системе.
- определение области расчета и параметров.
- задание характеристик расчета.
- анализ порученных результатов.

Выполнение каждого шага на выходе дает целостное представление о технических и эксплуатационных возможностях анализируемого изделия, его износа в формате виртуальной модели (симуляционной). На основе такой модели (рисунок 1) можно в реальном времени производить различные расчеты, оптимизационные задачи для улучшения технологических показателей.

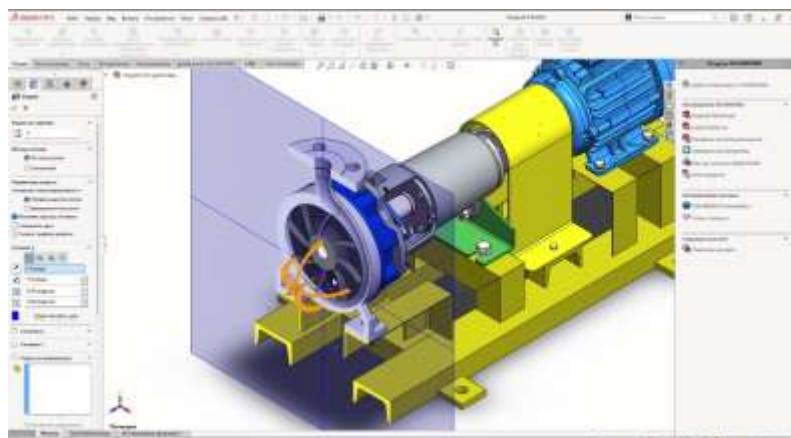


Рисунок 1 – Модель насосной установки (в разрезе) Calpeda N 32-125D/A

Список литературы

1. Ковальский Е.Р., Конгар-Сюрюн Ч.Б., Сиренко Ю.Г., Миронов Н.А. Моделирование реологических процессов деформирования несущих элементов камерной системы разработки для условий Верхнекамского месторождения калийных солей // Устойчивое развитие горных территорий. – 2024. – Т. 16. – № 3. – С. 1017–1030. DOI: 10.21177/1998-4502-2024-16-3-1017-1030
2. Рахутин М.Г., Занг К.К., Кривенко А.Е., Чан В.Х. Оценка влияния температуры рабочей жидкости на потери мощности карьерного гидравлического экскаватора // Записки Горного института. 2023. Т. 261. С. 374–383. EDN OKWKUF
- Энергопотребление одноковшовых экскаваторов / А. П. Комиссаров, Ю. А. Лагунова, В. С. Шестаков, И. Ю. Иванов // Горный журнал. – 2018. – № 1. – С. 73–77. – DOI 10.17580/gzh.2018.01.13.
- Клементьева И. Н., Кузиев Д. А. Выемочно-погрузочный драглайн с ковшом инновационной конструкции // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 7. – С. 149–157. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-07-0-149-157.
- Пецык, А. А. Сравнительный прочностной анализ алмазных сегментов канатных камнерезных станков / А. А. Пецык, М. В. Секретов, С. Г. Губанов // Горная промышленность. – 2024. – № 3. – С. 45–47. – DOI 10.30686/1609-9192-2024-3-45-47.
- Галкин В.И., Доблер М.О. Обоснование параметров вантовой системы ленточного конвейера на подвесных канатах типа RopeCon. Горный журнал-2022-№ 9, с. 72–57. DOI: 10.17580/gzh.2022.09.13
- Зотов, В.В. Повышение ресурса рабочих колес центробежных насосов шахтного водоотлива / В.В. Зотов, В.У. Мнацаканян, В.С. Базлин, В.С. Лакшинский, Е.В. Дятлова // Горная промышленность. – 2024. – № 2/2024. – С. 143–146.
- Batugin, A.; Kobylkin, A.; Kolikov, K.; Ivannikov, A.; Musina, V.; Khotchenkov, E.; Zunduijamts, B.; Ertuganova, E.; Krasnoshtanov, D. Study of the Migrating Mine Gas Piston Effect during Reactivation of Tectonic Faults. Appl. Sci. 2023, 13, 12041. <https://doi.org/10.3390/app132112041>
- Galkin V. I., Malakhov V. A., Malakhova I. M. Justification of using closed type bearings in belt conveyor rollers in mines. Eurasian Mining. 2024. No. 2. pp. 77–8. DOI: 10.17580/em.2024.02.16
- Krasyukova E., Aynbinder I., Ivannikov A. A rational approach to the management of underground mining in complex hydrogeological and geomechanical conditions based on a risk assessment. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 2021, 684(1), 012006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/684/1/012006>

УДК 622.331.002.5

ПРИНЦИП КОРРЕКЦИИ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ РЕЖУЩЕГО ЭЛЕМЕНТА ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ

Зюзин Б.Ф., д-р техн. наук, проф., Жигульская А.И., канд. техн. наук, доц.,
Гусева А.М., канд. техн. наук, доц., Туркин С.П., аспирант
Тверской государственный технический университет,

Рассмотрен принцип коррекции траектории движения режущего элемента фрезы. Приведена конструкция механизма, реализующего принцип коррекции.

Ключевые слова: фрезерование торфяной залежи, режущий элемент, коррекция траектории движения.

THE PRINCIPLE OF CORRECTION OF THE TRAJECTORY OF THE CUTTING ELEMENT WHEN MILLING PEAT DEPOSITS

Zyuzin B.F., Zhigulskaya A.I., Guseva A.M., Turkin S.P.

The principle of correction of the trajectory of the cutting element of the milling cutter is considered. The design of the mechanism implementing the correction principle is given.

Keywords: milling of peat deposits, cutting element, trajectory correction.

Геометрические параметры рабочего элемента характеризуются углом заострения β , задним углом θ , передней и задней гранями, степенью затупления режущей кромки.

Положение ножа на фрезе определено углом установки γ .

Особенностью кинематики фрезерующих устройств является то, что с изменением траектории движения рабочего элемента изменяется по величине и направлению вектор скорости и угол резания [2, 12, 14].

На рис. 1 показан ряд положений ножа в момент контакта с залежью.

При этом угол резания $\alpha_{рез}$ зависит от изменения угла между направлением скоростей резания и окружной, т.е. угла между касательной к траектории движения (*трохоиде*) и к окружности фрезы $\Delta\alpha$.

Это изменение тем значительнее, чем меньше скоростной параметр

$$\lambda = v_o / v_n.$$

Диапазон изменения угла резания определяется из уравнения

$$\alpha_{рез} = \beta + \theta \pm \Delta\alpha.$$

Частично уменьшить его пределы можно коррекцией угла установки рабочего элемента, под которым понимается угол γ между передней гранью ножа и радиусом фрезы. При больших значениях угла γ на участке входа ножа задняя грань деформирует залежь, вызывая значительный расход энергии на фрезерование. При небольших значениях угла γ передняя грань рабочего элемента способствует затратам энергии на отбрасывание фрезеруемой массы. В настоящее время разработан ряд методов определения рационального угла установки с помощью номограмм.

Все эти методы позволяют внести лишь частичную коррекцию, при этом её возможности ограничены диапазоном изменения скоростного параметра λ . Область работы фрезерующих устройств при $\lambda = 4-6$ является наиболее благоприятной.

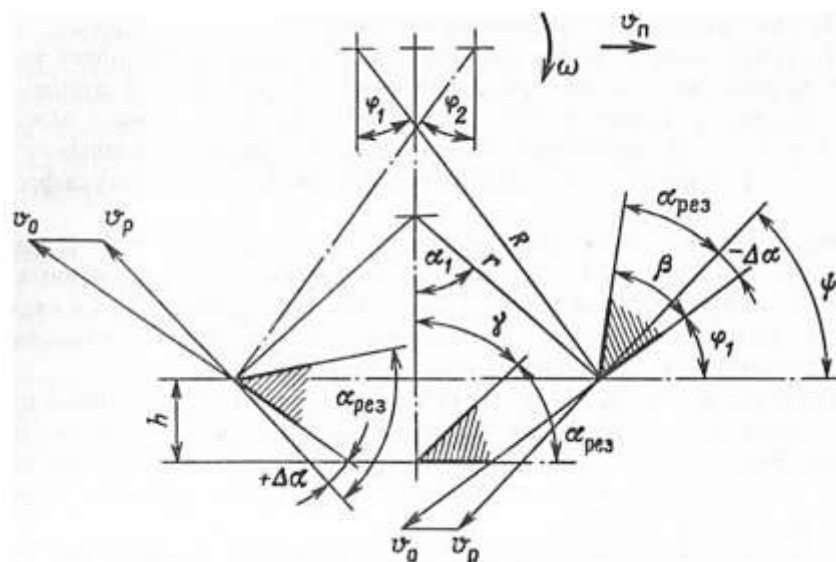


Рис 1. Изменение угла резания $\alpha_{рез}$ рабочего элемента

С целью расширения диапазона коррекции движения рабочего элемента по углу резания $\alpha_{рез}$ был предложен метод полной коррекции [4, 9].

Аппроксимируя траекторию движения на участке дуги контакта ножа с залежью вписанной окружностью [8–9, 12–14], допускаем, что для обеспечения полной коррекции угла резания рабочий элемент в каждый момент времени был ориентирован относительно радиуса кривизны траектории движения (трохоиды) r . Основные кинематические зависимости определены СТП 214-1-52-80 [5]. При этом вводимая поправка к углу резания выражаться через разность углов: $\Delta\alpha = \pi/2 - \varphi_1 - \psi$, где ψ – угол касательной к трохойде; φ_1 – угол входа ножа в залежь. Так как $\psi = \pi/2 - \alpha_1$, то окончательно $\Delta\alpha = \alpha_1 - \varphi_1$. Разработанный механизм коррекции угла резания $\alpha_{рез}$ позволял уменьшить затраты энергии на фрезерование за счёт обеспечения постоянства угла резания в процессе взаимодействия проходного ножа с залежью.

Принцип коррекции траектории движения ножа на рабочем органе в процессе эксплуатации фрезерующего устройства по способу поверхностной экскавации конструктивно был защищён авторским свидетельством на изобретение [6].

Изобретение относилось к торфяной промышленности и могло быть использовано для экскавации торфяной залежи фрезерным способом.

Недостатком известных устройств является жёсткое крепление режущего элемента, отсутствие механизмов, корректирующих положение ножа в процессе резания, что вызывает значительны расход энергии отбрасывание торфяной массы, и способствует интенсивному износу ножа.

Наиболее близким техническим решением к предлагаемому является устройство для экскавации торфяной залежи, включающее фрезу со стойками, опорами и ножами. Недостатком данного устройства является то, что при соотношениях скоростей окруженной к поступательной меньше, чем 10:1 с изменением траектории движений режущего элемента изменяется

по величине и направлению вектор скорости и угол резания.

Изменение угла резания вызывает значительный расход энергии на трение и заминание торфяной залежи задней гранью режущего элемента, что способствует увеличению затрат энергии на отбрасывание фрезеруемой массы. Цель изобретения – снижение энергоемкости процесса экскавации торфяной залежи путем стабилизации угла резания.

Поставленная цель достигается тем, что устройство для экскавации торфяной залежи снабжено кулисным механизмом, выполненным из тяги, подвижного, шарнира, установочного винта и установленным с возможностью взаимодействия посредством тяги с ножами, которые смонтированы в опорах стоек фрезы.

На рис. 2 показан общий вид предлагаемого устройства для экскавации торфяной залежи.

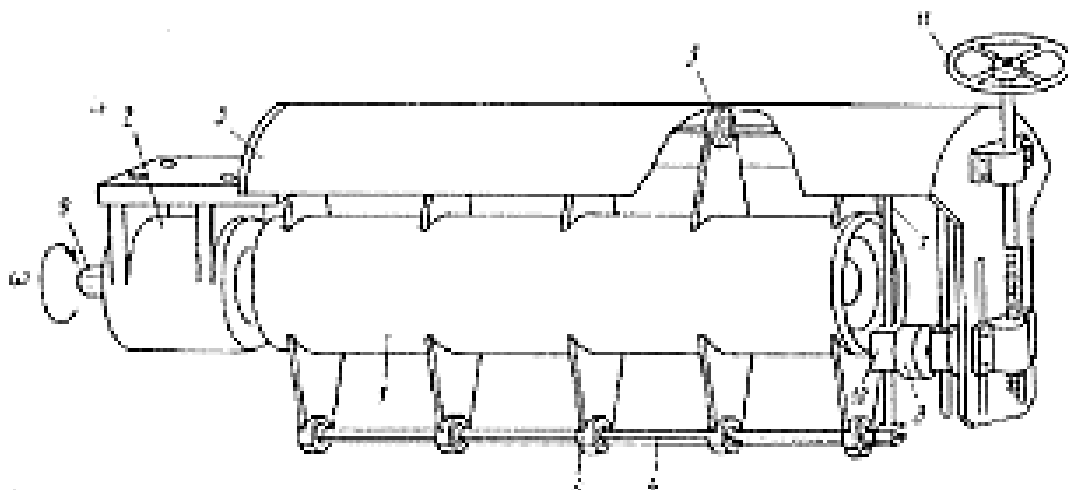


Рис. 2. Общий вид устройства для экскавации торфяной залежи

Устройство содержит рабочий орган фрезу 1, расположенную консольно в подшипниковой опоре 2 рамы 3. На фрезе 1 установлены ножи 4, закрепленные в подвижных опорах 5 стоек 6, и при помощи тяги 7 соединены с кулисным механизмом 8, расположенным под осью 9 вращения фрезы 1 и включающим подвижный шарнир 10 и установочный винт 11.

Перед работой при помощи установочного винта 11 кулисный механизм 8 фиксируется в заданном положении на раме 3 фрезы 1, обеспечивая при этом необходимый эксцентриситет относительно оси 9 вращения. В работе ножи 4 проворачиваются в подвижных опорах 5 стоек 6 фрезы 1 при помощи тяги 7 относительно оси 9 вращения кулисного механизма 8.

Изменение угла резания вызывает значительный расход энергии на трение и заминание торфяной залежи задней гранью режущего элемента, что способствует увеличению затрат энергии на отбрасывание фрезеруемой массы. Цель изобретения – снижение энергоемкости процесса экскавации торфяной залежи путем стабилизации угла резания.

Поставленная цель достигается тем, что устройство для экскавации торфяной залежи снабжено кулисным механизмом, выполненным из тяги,

подвижного, шарнира, установочного винта и установленным с возможностью взаимодействия посредством тяги с ножами, которые смонтированы в опорах стоек фрезы. Для осуществления заданных режимов резания производилось изменение положения шарнирного механизма относительно оси вращения фрезы путём перемещения его в пазах кронштейна кожуха в вертикальной плоскости и последующего крепления двумя призонными болтами. При этом в зависимости от режима работы фрезерующего устройства, путем изменения эксцентриситета механизмом, вводилась необходимая коррекция угла резания $\alpha_{рез}$.

Эксцентриситет рассчитывался по формуле $e = R \sin \Delta \alpha / \sin \alpha_1$.

Для замера энергетических параметров фрезерования фреза была оборудована тензозвеньями и проходными токосъемниками, расположенными на валу фрезы.

Применение новой схемы устройства для фрезерования торфяной залежи позволило снизить энергоёмкость процесса фрезерования до 10 %, способствовало формированию более однородного гранулометрического состава образующейся фрезерной крошки [2].

Список литературы

1. Миронов В.А., Зюзин Б.Ф., Лотов В.Н. Дистортность в механике горных пород: монография. Тверь: ТвГТУ, 1995. 196 с.
2. Зюзин Б.Ф., Жигульская А.И., Копенкина Л.В. Дистортность в процессах торфяного производства: монография, в 2-х ч. Тверь: ТвГТУ, 2025. Ч. II. 160 с.

УДК 622.331:62-5

СОЗДАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Иванов А.А., аспирант, **Жигульская А.И.**, канд. техн. наук, доц.
ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», г. Тверь

Представлен краткий обзор развития классификации торфяной техники. Рассматривается необходимость совершенствования классификации в связи с созданием новых средств комплексной механизации, а также с учетом новейших ресурсосберегающих технологий производства. Предложен вариант автоматизации подбора оборудования на основе цифровизации.

Ключевые слова: торфяные машины, классификация, цифровизация, системный подход.

CREATION OF A DATABASE OF EQUIPMENT FOR THE DEVELOPMENT OF PEAT DEPOSITS

Ivanov A.A., Zhigulskaya A.I.

A brief overview of the development of peat machinery classification is presented. The necessity of improving the classification is considered in connection with the creation of new means of complex mechanization, as well as taking into account the latest resource-saving production technologies. A variant of automation of equipment selection based on digitalization is proposed.

Keywords: peat machines, classification, digitalization, system approach.

На современном этапе развития отрасли важным и весьма трудным направлением является повышение эффективности добывающей и обогащательной отрасли, особенно учитывая постоянно усложняющиеся условия работы, ухудшение условий разработки месторождений полезных ископаемых, осложнение ведения горных работ увеличением глубины разработок, а также снижением качества добываемого сырья. Также не стоит забывать об ужесточении экологических требований при разработке месторождений полезных ископаемых.

При разработке торфяных месторождений важную роль играет правильный выбор оборудования. Существуют различные подходы к выбору агрегатов и машин, зависящие от метода добычи, характеристик торфяного месторождения и требуемого вида продукции. В настоящее время, имея широкий набор данных о характеристиках месторождений, а также имея большой ассортимент оборудования и машин на рынке, в отрасли наблюдается недостаток автоматизированных систем, которые, основываясь на комплексном анализе, могли бы рекомендовать способ разработки месторождения, а также производить подбор оборудования.

Систематизация знаний о машинах и механизмах для добычи торфа началась с момента возникновения Московского торфяного института и возникновением на его базе научного центра торфяной промышленности. Ряд ученых (С.Г. Солопов, М.В. Мурашов, Ф.А. Опейко, О.С. Горфин и др.) внесли огромный вклад в развитие классификаций машин и механизмов для разработки торфяных месторождений [1].

На всем протяжении работы над разработками классификаций торфяных машин, применялся метод системного подхода, который позволяет

выявить целостность объекта при помощи обнаружения взаимосвязей для формирования комплексного представления о нем [2].

Разработанные ранее классификации, каталоги и перечни оборудования, в настоящее время требуют обновления. Необходимо учитывать не только новые разработки, материалы и технические усовершенствования, но и меняющиеся условия экономики, необходимость применения ресурсосберегающих технологий

На современном этапе развития торфодобывающей отрасли возникают новые требования к оборудованию и торфяным машинам. Разработанные в прошлом веке конструкционные решения отечественных машиностроителей не могут в полной мере отвечать новым требованиям и вызовам. Новым конструкциям торфяных машин необходимо учитывать не только производительность, но и экологичность, а также современные стандарты безопасности.

Основываясь на классификациях прошлых лет, предлагается более современный способ подбора оборудования путем создания базы данных, в которой будут собраны образцы средств комплексной механизации с техническими характеристиками и другими необходимыми данными.

Для создания базы данных оборудования для разработки торфяных месторождений необходимо собрать информацию о типах оборудования, его технических характеристиках, эксплуатационных параметрах, экономических показателях, экологических характеристиках, совместимости с технологиями, о производителях. Это поможет создать структурированную базу данных, которая будет полезна для принятия решений о выборе оптимального оборудования для разработки торфяных месторождений.

Создание базы данных оборудования для разработки торфяных месторождений может решить несколько ключевых целей, которые способствуют повышению эффективности и рентабельности добычи торфа.

Оптимизация выбора оборудования: база данных позволит быстро и точно подбирать оборудование для конкретных условий месторождения, учитывая ключевые факторы.

Повышение производительности: систематизированные данные о производительности и технических характеристиках оборудования позволяют оптимизировать процессы добычи и переработки торфа. Это способствует увеличению объемов добычи и улучшению качества продукции.

Снижение затрат: анализ экономических показателей оборудования (стоимость, обслуживание, энергопотребление) позволяет выбирать наиболее экономичные, а также наиболее подходящие для данных условий варианты.

Улучшенное управления запасами и логистики: база данных может позволить отслеживать наличие и состояние оборудования, что упрощает планирование поставок запчастей и обслуживания.

Учет экологических факторов: база данных может содержать информацию об экологических характеристиках оборудования, что помогает минимизировать воздействие на окружающую среду.

Увеличив количество характеристик оборудования, включаемых в базу, можно не только осуществлять рекомендации по подбору, но также проводить сравнительный анализ моделей разных производителей.

Подобная цифровая среда может рассматриваться не только как средство для оптимизации выбора оборудования, но и быть инструментом для решения практических и теоретических задач на специализированных направлениях подготовки. База данных может также иметь прикладное значение в изучении характеристик оборудования, задач применимости его в специфических условиях, а также может применяться в иллюстративных целях.

Список литературы

1. Зюзин Б.Ф., Яконовская Т.Б., Жигульская А.И. и др. Современные направления модернизации комплексов оборудования в связи с эволюцией способов добычи торфа // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015.
2. Зюзин Б.Ф., Яконовская Т.Б., Жигульская А.И. Системный подход к развитию классификации торфяных машин и оборудования // Горные науки и технологии, 2022.

УДК 621.6-52

МОДЕЛЬ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА РУДНИЧНОЙ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ

Копачев В.Ф., Копачева Е.А.

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

Рассмотрен пример создания модели цифрового двойника рудничной компрессорной станции, состоящей из нескольких турбоагрегатов. Разработаны алгоритмическая структура модели компрессорной станции и схема модели для построения ее динамических характеристик. Определены основные коэффициенты связи между каналами входных и выходных воздействий. Предлагаемая алгоритмическая схема модели реализована в программной среде Matlab/Simulink. Разработанная модель цифрового двойника рудничной компрессорной станции позволяет симулировать различные режимы ее работы и оптимизировать технологический процесс производства сжатого воздуха.

Ключевые слова: компрессорная станция, алгоритм, цифровой двойник, математическая модель.

DIGITAL TWIN MODEL OF A MINE COMPRESSOR STATION

Kopachev V.F., Kopacheva E.A.

An example of creating a digital twin model of a mine compressor station consisting of several turbo units is considered. An algorithmic structure of the compressor station model and a model scheme for constructing its dynamic characteristics are developed. The main coefficients of communication between the channels of input and output actions are determined. The proposed algorithmic scheme of the model is implemented in the Matlab/Simulink software environment. The developed model of the digital twin of the mine compressor station allows simulating various modes of its operation and optimizing the technological process of compressed air production. Keywords: compressor station, algorithm, digital twin, mathematical model.

Keywords: compressor station, control, algorithm, compressed air, mathematical model.

Энергия сжатого воздуха на горнорудных предприятиях является одним из самых дорогих видов. Выработка сжатого воздуха осуществляется на стационарных компрессорных станциях, которые оборудованы несколькими компрессорными агрегатами. Для повышения эффективности работы компрессорной станции необходимо решать задачи, связанные оптимизацией работы компрессорных агрегатов: выработки необходимого количества сжатого воздуха при минимальных затратах на его производство [1].

Показатели работы компрессорной станции могут быть определены расчётным и экспериментальным способами. При реализации модели на компьютере может быть создан цифровой прототип технологического комплекса, который можно применить для решения задач моделирования технологических ситуаций для принятия управленческих решений [2].

На крупных компрессорных станциях применяют несколько установок центробежных компрессорных агрегатов, которые состоят, непосредственно, из электродвигателя, редуктора-мультипликатора и центробежного агрегата. Компрессорная установка выполняет функции преобразования электрической энергии в энергию сжатого воздуха, которая потребляется

пневматическим оборудованием при выполнении ими определённой работы.

На компрессорной станции, как правило, параллельно работают несколько однотипных компрессоров, при этом давление компрессорной станции $p_{\text{кк}}$ поддерживается постоянным, а расход сжатого воздуха станции $Q_{\text{кк}}$ изменяется по мере включения и отключения потребителей.

Изменять гидравлическую мощность компрессорной станции можно за счёт увеличения или снижения производства сжатого воздуха посредством изменения числа работающих на пневмосеть компрессорных агрегатов $N_{\text{ка}}$.

В модели для описания зависимости изменения выходных параметров используем систему уравнений, которые описывают зависимости изменений выходных параметров от изменения входных воздействий по нескольким каналам:

$$Q_{\text{кк}} = f(N_{\text{ка}}), \quad p_{\text{кк}} = f(Q_{\text{кк}}). \quad (1)$$

Переходя к малым изменениям параметров, эти связи можно линеаризовать и описать линейными дифференциальными уравнениями:

$$Q_{\text{ка}} \frac{dQ_{\text{кк}}(t)}{dt} + Q_{\text{кк}}(t) = k_1 N_{\text{ка}}(t), \quad (2)$$

$$T_{\text{ка}} \frac{dp_{\text{кк}}(t)}{dt} + p_{\text{кк}}(t) = k_2 Q_{\text{кк}}(t), \quad (3)$$

где k_1 – передаточный коэффициент по каналу « $\Delta N_{\text{ка}} - \Delta Q_{\text{кк}}$ »; k_2 – передаточный коэффициент компрессорной станции по каналу « $\Delta Q_{\text{кк}} - \Delta p_{\text{кк}}$ »; $T_{\text{ка}}$ – постоянная времени компрессорного агрегата.

После преобразования уравнений (2) и (3) в операторную форму получим передаточные функции по каналам воздействий:

$$W_1(p) = \frac{k_1}{T_{\text{ка}} p + 1}, \quad (4)$$

$$W_2(p) = \frac{k_2}{T_{\text{ка}} p + 1}. \quad (5)$$

Алгоритмическая структурная схема модели компрессорной станции с учетом выражений (4) и (5) показана на рис. 1.

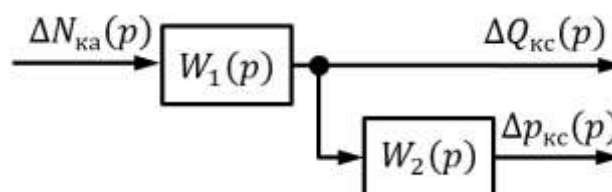


Рис. 1. Алгоритмическая структура модели компрессорной станции

Используя основные технические параметры центробежного компрессора К-250-61-5 и схему модели компрессорной станции (рис. 1) разработаем алгоритмическую модель компрессорной станции, состоящей из

трёх турбоагрегатов. Параметры передаточных функций такой модели исходя из технических характеристик оборудования будут иметь вид:

$$W_1(p) = \frac{3,75}{5p+1}, \quad W_2(p) = 0,213. \quad (6)$$

Для исследования статических и динамических свойств объекта в системе Matlab/Simulink [3] была построена алгоритмическая схема компрессорной станции, приведенная на рис. 2. В схеме по управляемым каналам были включены статические нелинейности, ограничивающие производительность компрессора и давление на выходе компрессорной станции в пределах реальных технических характеристик работающего оборудования.

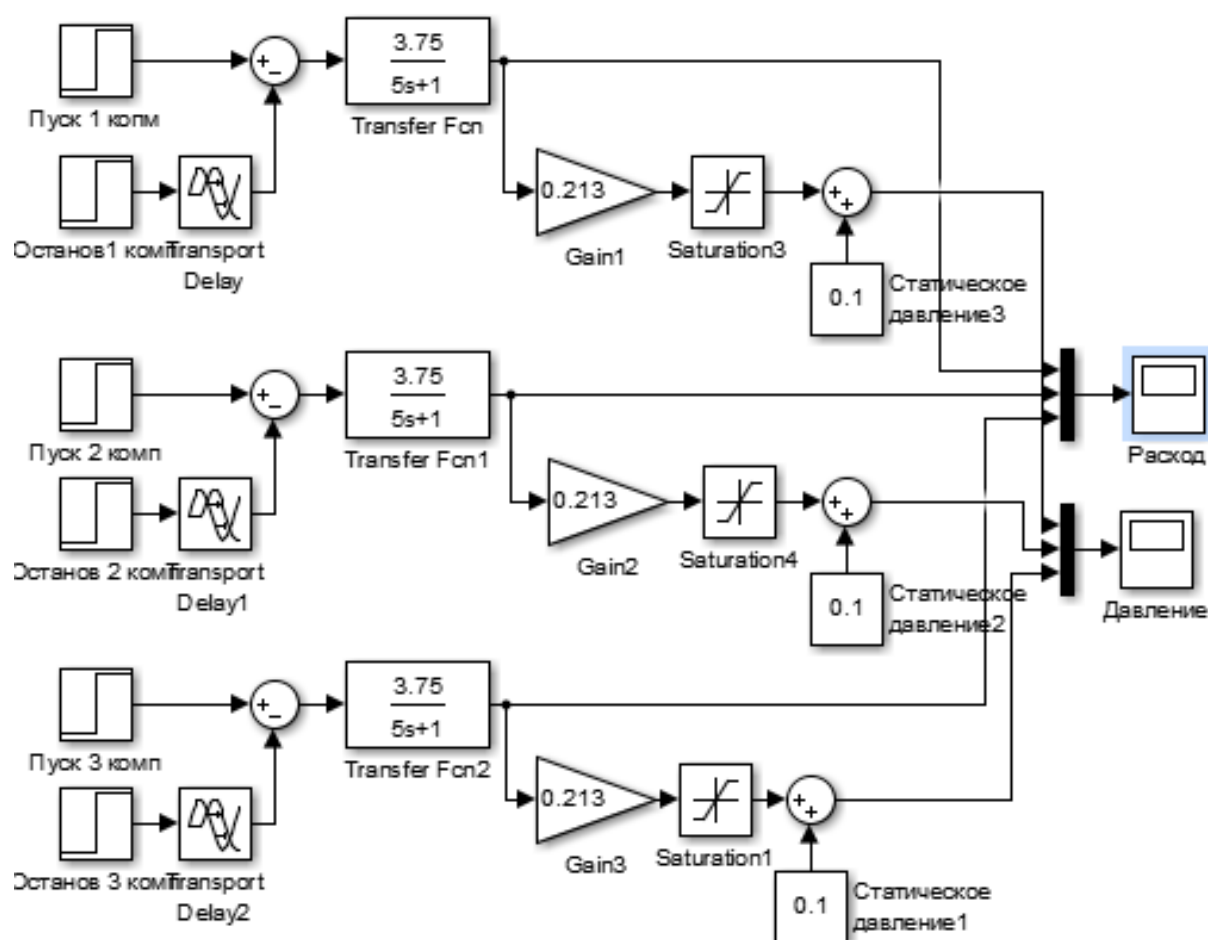


Рис. 2. Алгоритмическая схема модели для построения динамических характеристик компрессорной станции

Результаты симуляции работы компрессорной станции в программной среде Matlab/Simulink представлены на рис. 3.

Полученные динамические характеристики компрессорной станции вполне точно описывают процессы, происходящие в реальности. Дополнение математической модели компрессорной станции моделями потребителей сжатого воздуха позволяет получить цифровой двойник рудничной

компрессорной станции, который в динамике показывает изменение технических параметров системы выработки сжатого воздуха.

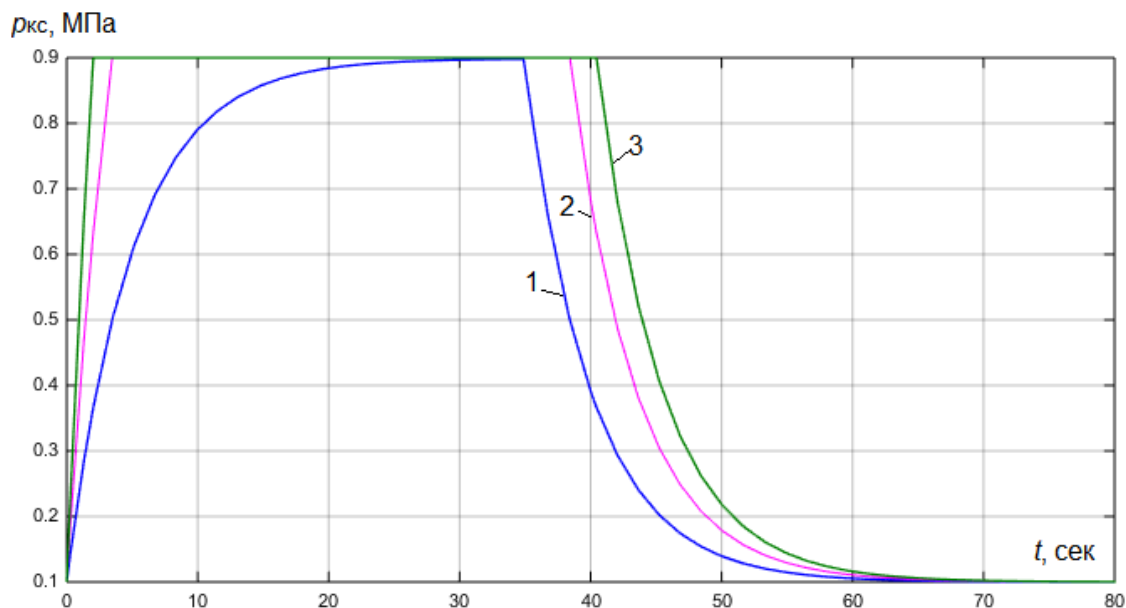


Рис. 3. Динамические характеристики пуска и останова компрессорной станции с разным количеством компрессоров: 1 – $N_{ка} = 1$; 2 – $N_{ка} = 2$; 3 – $N_{ка} = 3$

Использование таких цифровых двойников рудничных компрессорных станций позволяет симулировать различные режимы работы станции и оптимизировать технологические процессы по ее управлению с целью снижения затрат электроэнергии на выработку сжатого воздуха при значительных колебаниях режимов работы рудничных пневмопотребителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гендлер С. Г., Копачев В. Ф., Ковшов С. В. (2022) Мониторинг потерь сжатого воздуха в разветвленных воздухопроводных сетях горных предприятий. Записки Горного института. Том 253. С. 3-11. DOI: 10.31897/PMI.2022.8
2. Паршина И. С. Фролов Е. Б. Разработка цифрового двойника производственной системы на базе современных цифровых технологий // Экономика промышленности. – 2020. – Т. 13, № 1. – С. 29-34. – DOI 10.17073/2072-1633-2020-1-29-34. – EDN BAWKPI.
3. Полковникова Н. А. Научные и инженерные расчеты в среде Matlab. М.: Мор-книга. 2019. 143 с.

УДК 622.23.05

МЕХАНИЗМ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ МОСТОВОЙ ПЛАТФОРМЫ КАК ПРОЦЕСС

Мякотных А.А.¹, асп., Иванов С.Л.¹, проф.

¹Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

Разработка неосушенных торфяных месторождений традиционными технологиями и техникой практически невозможна, в связи с тем, что некоторые участки месторождения могут быть без растительного покрова, а для прохождения гусеничной и колесной требуется устойчивая поверхность, что влечет за собой необходимость в разработке технологий и машин для реализации добычи в условиях повышенной влажности и слабой несущей способности, характеризующиеся плавучестью, устойчивостью и проходимостью. Одним из таких предложений является мостовая платформа, механизм перемещения которой обеспечивает перечисленные характеристики в условиях неосушенных обводненных месторождений.

Ключевые слова: неосушенные месторождения, мостовая платформа, полупогружные опоры.

THE MECHANISM OF MOVING THE BRIDGE PLATFORM AS A PROCESS

Myakotnykh A.A., Ivanov S.L.

Development of undrained peat deposits by traditional technologies and equipment is practically impossible, due to the fact that some areas of the deposit may be without vegetation cover, and for the passage of caterpillar and wheeled requires a stable surface, which entails the need to develop technologies and machines to implement extraction in conditions of high humidity and weak bearing capacity, characterized by buoyancy, stability and passability. One of such proposals is a bridge platform, the movement mechanism of which provides the above characteristics in the conditions of undrained watered fields.

Keywords: undried deposits, bridge platform, semi-submersible supports.

Согласно информации, представленной Федеральным агентством по недропользованию, на 2020 год Северо-Западный федеральный округ располагает 34,5 % от общих запасов торфа Российской Федерации. Учитывая климатические особенности региона (высокий уровень грунтовых вод, значительный избыток осадков), разработка торфяных месторождений существующими технологиями с предшествующими мероприятиями по осушению поверхностей торфяных залежей, нерациональна. Поэтому актуальной задачей является разработка торфяных месторождений в естественном состоянии.

При разработке торфяных месторождений естественного залегания реализация добычи техникой с гусеничным или колесным ходом невозможна [1], а для добычи земснарядами необходима близость к открытой воде, тогда как мостовые комплексы [2] способны работать на неосушенных месторождениях в условиях высокой влажности и слабой несущей способности, но для эффективного применения последних необходим механизм перемещения мостовой платформы по поверхности обводненных торфяных месторождений.

Понятие «механизм» в данной работе подразумевает процесс перемещения мостовой платформы [3], который функционирует следующим образом (рисунок 1): первым этапом при перемещении выступает создание скважины большого диаметра ковшебуром в торфяной залежи по направ-

лению движения (а), после чего последние по ходу движения полупогружные опоры заполняются балластной водой для предотвращения их всплытия под действием выталкивающей силы (б), затем бык моста перемещают вперед так, чтобы освободить последнюю опору, следующим этапом осуществляется захват опоры за ее оголовок, после чего из опоры откачивается вода и ее переносят в созданную скважину (в).

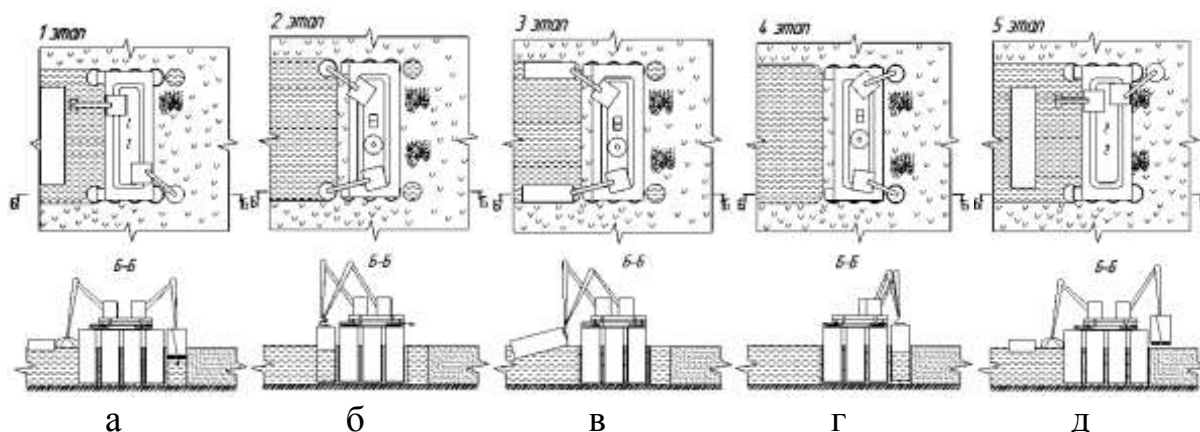


Рисунок 1. Механизм перемещения мостовой платформы

При контакте с водой опору вновь заполняют балластной водой для ее погружения на необходимую глубину (г), при достижении установленного уровня бык моста перемещают на эту опору и для снижения давления на дно скважины вновь откачивают воду (д). Затем, при завершении добычных работ, опору окапывают на $\frac{3}{4}$ от длины окружности опоры, для предотвращения воздействия сил сопротивления при всплытии опоры, и цикл повторяется снова.

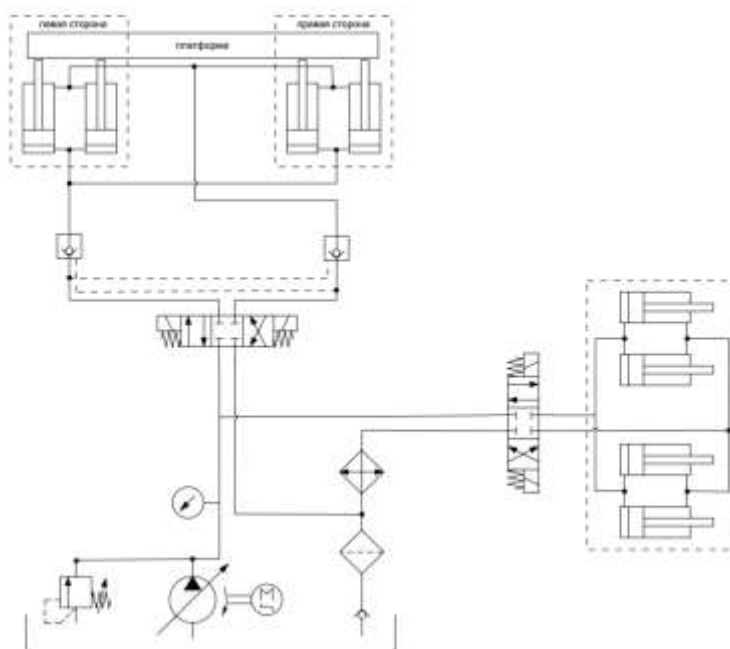


Рисунок 2. Принципиальная гидравлическая схема перемещения моста по опорам

Механизм перемещения сопровождается работой гидравлического оборудования, такого как гидравлические домкраты и гидравлические ци-

линдры, а также работой опорной лыжи. Посредством опорных лыж, основанием для которых является группа опор, и гидравлических домкратов мостовую часть платформы поднимают над быками моста для свободного смещения вдоль направляющей с помощью горизонтально установленных гидроцилиндров. Принципиальная схема гидравлической системы изображена на рисунке 2, в состав которой входит гидравлический домкрат (1), гидравлический цилиндр (2), гидравлический замок (3), распределитель (4), охладитель (5), фильтр (6), регулируемый насос с электродвигателем (7), клапан напорный с дистанционным управлением (8), манометр (9).

Таким образом, разработка механизма перемещения мостовой платформы на обводненных неосушенных торфяных месторождениях представляет собой важный шаг в развитии техники для добычи торфяного сырья. Учитывая ограничения, связанные с условиями работы, мостовые комплексы являются актуальным решением для работы в таких условиях. Предложенный механизм перемещения, основанный на работе гидравлического оборудования, обеспечивает функционирование платформы, позволяя обеспечивать устойчивость на обводненных неосушенных торфяных месторождениях.

Список литературы

1. Петров А. А., Зюзин Б. Ф. Технологии и оборудование для транспортирования грузов при освоении неосушенных торфяных болот // Труды Инсторфа. – 2024. – №. 30 (83). – С. 11-23.
2. Мякотных А.А., Иванова П.В., Иванов С.Л. Критерии и технологические требования создания мостовой платформы добычи торфяного сырья для климатически нейтральной геотехнологии // Горная промышленность. – 2024. – №4. – С. 116–120.
3. Патент № 2807666 С1 Российская Федерация, МПК E02C 5/02, E02F 9/06, E21C 49/02. Мостовая плавучая платформа: № 2023115181: заявл. 09.06.2023: опубл. 21.11.2023 / А. А. Мякотных, С. Л. Иванов, П. В. Иванова; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет".

УДК 621.036:621.1

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СЖАТОГО ВОЗДУХА В КОМПРЕССОРАХ

Потапов В.Я.¹, проф., Симисин Д.И.¹, проф., Потапов В.В.¹, доц.,
Соколов Р.В.¹, асс., Парамонова А.А.², маг.

Уральский государственный горный университет¹, г. Екатеринбург, Россия
«Санкт-Петербургский горный университет»², г. Санкт-Петербург, Россия

Рассмотрены термодинамические процессы при сжатии воздуха в компрессорных установках. Описание процессов основано на термодинамических законах и представлена в виде уравнений. Основные параметры, входящие в уравнение, основываются на давлении p , объеме V и температуре T , которые описывают уравнение состояния идеального газа. Также использовано уравнение Ван-дер-Ваальса, которое качественно описывает жидкое и газообразное состояние системы. В результате решения этих уравнений определено общее давление, складываемое из внешнего и внутреннего давлений компрессорной установки.

Ключевые слова: объемные и динамические компрессоры, компрессорная установка, давление, объем, температура, уравнение Ван-дер-Ваальса.

THERMODYNAMIC PROCESSES IN COMPRESSED AIR PRODUCTION IN COMPRESSORS.

Potapov V. Ya., Simisinov D.I., Potapov V.V., Sokolov R.V., Paramonova A.A.

The article considers thermodynamic processes at compression of air in compressor units. The description of the processes is based on thermodynamic laws and is presented in the form of equations. The main parameters included in the equation are based on pressure p , volume V and temperature T , which describe the equation of state of an ideal gas. The van der Waals equation, which qualitatively describes the liquid and gaseous state of the system, was also used. The result of the solution of these equations was determined the total pressure summarized from the external and internal pressures of the compressor system.

Keywords: volumetric and dynamic compressors, compressor unit, pressure, volume, temperature, van der Waals equation.

Сжатый воздух вырабатывается на компрессорных станциях, оборудованных различными типами компрессоров, которые по принципу действия можно разделить на два класса.

К первому классу относятся компрессоры, работающие на объемном принципе действия. Это поршневые компрессоры (ПК), у которых сжатие и нагнетание газа осуществляется путем периодически повторяющихся сокращений объема рабочей полости цилиндра. К этому классу можно отнести все разновидности ротационных компрессоров, у которых сжатие происходит в криволинейном цилиндре – винтовые компрессоры, или в камерах, образованных пластинами ротора, эксцентрично расположенного к цилиндрическому статору – пластинчатые компрессоры.

Ко второму классу относятся центробежные и осевые компрессоры, или турбокомпрессоры (ТК), в которых сжатие газа осуществляется путем сообщения ему лопатками рабочих колес большой скорости и последующего преобразования этой кинетической энергии в работу сжатия нагнетаемого газа.

Области применения компрессоров по производительности и давлению не являются постоянными и изменяются в зависимости от совершенствования машин различных типов и конструкций.

Компрессорную установку можно считать однородной термодинамической системой, для которой рабочим телом, т. е. веществом, способным воспринимать и отдавать теплоту, а также совершать работу, является атмосферный воздух [1-5].

Функциональная зависимость между параметрами этой простой термодинамической системы давлением p , объемом V и температурой T называется уравнением состояния. Эту зависимость в общем виде можно записать как

$$F(p, V, T) = 0, \quad (1)$$

где каждая из переменных является функцией двух других.

Уравнение состояния может быть получено экспериментально и теоретически. Подобное уравнение имеет смысл только для равновесных систем, в которых температура и давление одинаковы во всех точках системы.

Находим приращение давления Δp из уравнения состояния (1):

$$\Delta p = \left(\frac{dp}{dV}\right)_T * \Delta V + \left(\frac{dp}{dT}\right)_V * \Delta T \quad (2)$$

Пусть $\Delta p = 0$. Тогда, учитывая, что

$$\lim_{\Delta T \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{\Delta T} = \left(\frac{dV}{dT}\right)$$

из уравнения (2) можно получить связь между частными производными

$$\left(\frac{dV}{dT}\right) = - \frac{\left(\frac{dp}{dT}\right)_V}{\left(\frac{dp}{dV}\right)_T} \quad (3)$$

Полученное уравнение представляет собой уравнение состояния в дифференциальной форме. Оно дает возможность установить связь между коэффициентом объемного расширения α при постоянном давлении, изотермическим коэффициентом сжатия β_T и термическим коэффициентом давления k , имеющими вид:

$$\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{dV}{dT}\right) \quad (4)$$

$$\beta_T = - \frac{1}{V} \left(\frac{dV}{dp}\right)_T; \quad (5)$$

$$k = \frac{1}{p} \left(\frac{dp}{dT}\right)_V \quad (6)$$

Пользуясь этими соотношениями и уравнением состояния (3), получаем искомую зависимость в виде:

$$\alpha = p \beta_T k \quad (7)$$

При получении дифференциального уравнения состояния (3) не было сделано каких-либо ограничивающих предположений относительно вида уравнения состояния (1). Поэтому соотношение (3) справедливо при любом конкретном виде функциональной связи объема, давления и температуры в уравнении состояния (1).

Для решения большинства термодинамических задач необходимо знать уравнение состояния в явном виде. Простейшим уравнением состояния является уравнение состояния идеального газа, называемое уравнением Клапейрона-Менделеева. Для одного грамм-моля оно имеет вид:

$$pV_{\mu} = R_{\mu}T; \quad (8)$$

где R_{μ} универсальная газовая постоянная. Уравнение (8) нетрудно получить, используя уравнения

$$pV = \text{const}, \quad (9)$$

$$V = V_0(1 + \alpha t) \quad (10)$$

Уравнения (8), (9) и (10) получены для идеального газа, т. е. газа, в котором молекулы считаются материальными точками, а силы взаимодействия между ними равны нулю.

Хотя в природе идеальных газов не существует, в науке и технике, имеющей дело с реальными газами, часто встречается возможность применить уравнение состояния идеального газа для расчетов параметров термодинамической системы.

На практике мы всегда имеем дело с веществами, свойства которых более или менее отступают от свойств идеальных веществ. Такие вещества описываются более сложными уравнениями состояния.

Рассмотрим уравнение Ван-дер-Ваальса, которое качественно хорошо описывает жидкое и газообразное состояние системы. Оно для одной грамм-молекулы имеет вид:

$$\left(p + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT \quad (11)$$

Заметим, что при $p \gg (a/V^2)$ и $V \gg b$ это уравнение переходит в уравнение состояния идеального газа $pV=RT$.

Уравнение Ван-дер-Ваальса может быть получено из уравнения Клапейрона-Менделеева путем внесения поправки a/V^2 к величине давления и поправки b к объему.

Поправка b учитывает:

во-первых, объем, занимаемый молекулами реального газа (в идеальном газе молекулы принимаются за материальные точки, не занимающие никакого объема);

во-вторых, так называемое «мертвое пространство», куда не могут проникнуть молекулы реального газа при движении, т. е. объем зазоров между молекулами при их плотной упаковке.

Таким образом, $b = V_{\text{мол}} + V_{\text{зазор}}$. (12)

Поправка к давлению a/V^2 учитывает силы взаимодействия между молекулами реальных газов. Она представляет внутреннее давление, которое определяется из следующих простых соображений. Два соседних элемента газа будут взаимодействовать с силой, пропорциональной произведению количеств вещества, заключенных в этих элементарных объемах. Поэтому внутреннее Давление p ; пропорционально квадрату концентрации n .

$$p_i \approx n^2 \approx \rho^2 \approx \frac{1}{V^2} \quad (13)$$

где ρ - плотность газа.

Таким образом, общее давление складывается из внешнего и внутреннего давлений

$$p + p_i = p + \left(\frac{\alpha}{V^2}\right) \quad (14)$$

Выводы: На основании рассмотренных уравнений, описывающих состояние процесса сжатия, воздух в компрессорах можно считать однородной термодинамической системой, для которой рабочим телом является атмосферный воздух. Несмотря на различие в принципах действия объемных (поршневых и винтовых) и динамических (центробежных) компрессоров, термодинамические процессы, протекающие в них, могут быть приняты одинаковыми.

Список литературы

1. Дмитриев В.Т., Миняев Ю.Н. Модернизация системы газораспределения поршневых компрессоров // компрессорная техника и пневматика, 2005. №2 С. 24-26.
2. Миняев Ю.Н. Энергосбережение при производстве и распределении сжатого воздуха на промышленных предприятиях. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2002. 131 с.
3. Миняев Ю.Н. Энергоаудит. Модернизация компрессорно-воздушного хозяйства промышленных предприятий. Екатеринбург, НПО <<Радикал>>, 2006. №2, с. 254-257.
4. Миняев Ю.Н. Исследование объемных потерь в пневматических сетях рудничных компрессорных установок. // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2006. №2, с. 254-257.
5. 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.

УДК 622.001.89:622.68

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРИВОДА ФРЕЗЫ МАШИНЫ ДЛЯ СРЕЗКИ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Синицын В.Ф., профессор, Копенкина Л.В., доцент

ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», г. Тверь, Россия

Представлен пример определения параметров маховичного накопителя кинетической энергии для увеличения момента инерции фрезы с целью уменьшения мощности привода фрезы машины для срезки древесной растительности. Полученные расчетом, параметры маховика используются в качестве исходных данных при конструкторской проработке привода с маховичным накопителем энергии.

Ключевые слова: машина для срезки древесной растительности, фреза, мощность привода, момент инерции, кинетическая энергия, маховичный накопитель.

DETERMINING THE PARAMETERS OF THE CUTTER DRIVE OF THE MACHINE FOR CUTTING WOODY VEGETATION

Sinicyn V.F., Kopenkina L.V.

The article presents an example of determining the parameters of a flywheel kinetic energy storage device to increase the moment of inertia of a milling cutter in order to reduce the drive power of a milling cutter for cutting woody vegetation. The flywheel parameters obtained by calculation are used as initial data in the design study of a drive with a flywheel energy storage device.

Keywords: tree cutting machine, milling cutter, drive power, moment of inertia, kinetic energy, fly-wheel accumulator.

Машины для срезки древесной растительности типа ЭСЛ использовались в торфяной отрасли с 1956 года. Для этой машины были разработаны программы, реализующие имитационную модель процесса взаимодействия фрезы с древостоем [1]. Компьютерные эксперименты с имитационной моделью машины типа ЭСЛ показали, что увеличением момента инерции фрезы можно многократно снизить мощности привода фрезы [2]. Для этого необходимо значительное увеличение момента инерции фрезы.

В имитационной модели момент инерции фрезы является суммой момента инерции собственно фрезы и момента инерции привода фрезы. Единственным способом увеличения момента инерции фрезы является введение в систему привода фрезы инерционного устройства – маховичного накопителя кинетической энергии [3].

Для решения задачи определения массы и радиуса маховика, нужно использовать зависимость мощности привода, полученной в результате компьютерного эксперимента в соответствующих условиях. Задачу определения параметров маховика можно решить следующим образом. Приведем пример нахождения таких параметров.

Момент инерции фрезы и число оборотов фрезы определяют запас кинетической энергии фрезы A_c , обеспечивающей функциональность фрезы при соответствующей мощности привода:

$$A_c = J \frac{\omega_{\max}^2}{2}, \text{ Дж.} \quad (1)$$

где J - момент инерции фрезы, кгм^2 ; ω_{max}^2 - максимальная частота вращения фрезы, рад/с .

Запас кинетической энергии непосредственно фрезы

$$A_{\phi} = J_{\phi} \frac{\omega_{\text{max}}^2}{2}, \text{ Дж}, \quad (2)$$

где J_{ϕ} - момент инерции непосредственно фрезы, кгм^2 ; ω_{max}^2 - максимальная частота вращения фрезы, рад/с .

Разность $A_c - A_{\phi}$ представляет собой запас кинетической энергии системы привода A_{π}

$$A_{\pi} = A_c - A_{\phi} = (J - J_{\phi}) \frac{\omega_{\text{max}}^2}{2}, \text{ Дж}. \quad (3)$$

Запас максимальной кинетической энергии маховичного накопителя энергии равен

$$A_m = J_m \frac{\omega_m^2}{2}, \text{ Дж}. \quad (4)$$

где J_m - момент инерции маховика, кгм^2 .

Упрощенно можно считать, что кинетическая энергия системы привода – это кинетическая энергия маховичного накопителя энергии.

Соответственно, можно приравнять правые части уравнений (3) и (4).

$$J_m \frac{\omega_m^2}{2} = (J_s - J_{\phi}) \frac{\omega_{\text{max}}^2}{2} \quad (5)$$

Если решить уравнение (5) относительно J_m получим

$$J_m = (J - J_{\phi}) \left(\frac{\omega_{\text{max}}^2}{\omega_m^2} \right)^2. \quad (6)$$

Упрощенно можно считать, что вся масса маховика сосредоточена в ободе. Соответственно, момент инерции маховика подсчитываем по формуле

$$J_m = m_m R^2, \quad (7)$$

где m_m – масса маховика, кг ; R – радиус маховика, м .

На рисунке представлена зависимость мощности привода фрезы от момента инерции фрезы $N=f(J)$, полученная в результате компьютерного эксперимента с имитационной моделью фрезы при следующих условиях.

Параметры фрезы: D – диаметр фрезы машины ЭСЛ, равный 1,5 м; B – ширина зуба фрезы, равная 0,045 м; K_{ϕ} – коэффициент использования ширины захвата фрезы машины ЭСЛ, равный 0,8.

Режим работы фрезы: ω – скорость подачи фрезы машины ЭСЛ, равная 2 м/с; A – удельный расход энергии на фрезерование древесины машины ЭСЛ, равный 3000 кДж/м^3 ; n – частота вращения фрезы, равная 644 об/мин.

Характеристика древостоя: t – густота древостоя, равная 1600 деревьев, 1/га; M_{md} – математическое ожидание диаметра деревьев на уровне мохового покрова, равное 0,13 м.

При определении параметров маховика нужно ориентироваться на начальный участок зависимости $N=f(J)$, на котором мощность интенсивно уменьшается с увеличением момента инерции. Для того, чтобы снизить

мощность привода с 70 до 13 кВт необходимо момент инерции увеличить до 350 кгм^2 . Принимая момент инерции собственно фрезы $J_{\text{ф}}=70 \text{ кгм}^2$, частоту вращения маховика $n=2000 \text{ об/мин}$, используя приведенную выше формулу (7), получаем, что маховик должен иметь массу 116 кг и диаметр 1 м.

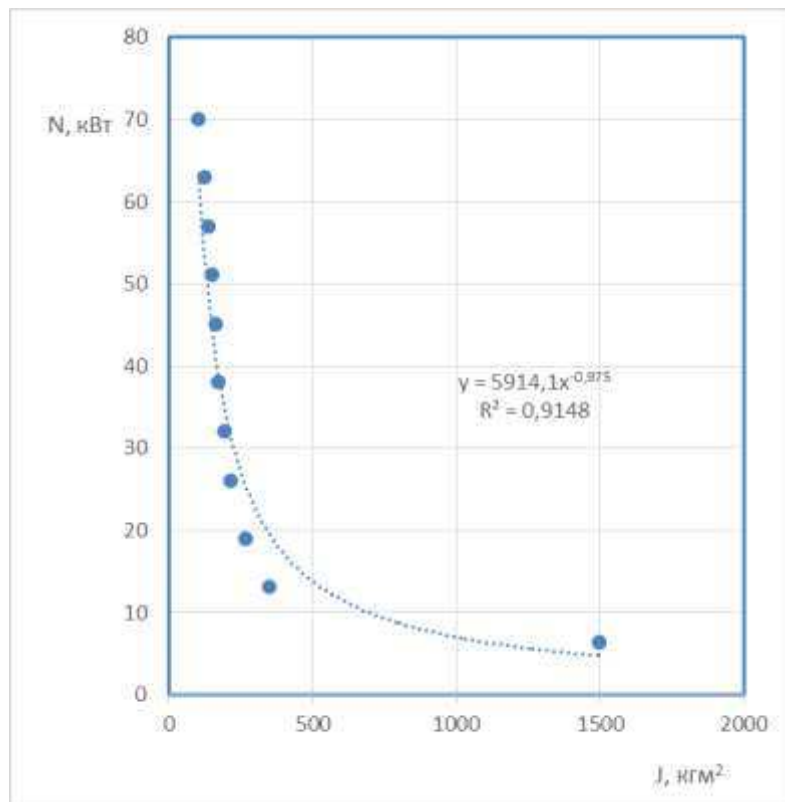


Рисунок. Зависимость мощности привода фрезы $N, \text{кВт}$, от момента инерции фрезы $J, \text{кгм}^2$.

Если попытаться уменьшить мощность привода еще на 6 кВт, то для этого придется принять момент инерции равным 1600 кгм^2 . Вычисления, выполненные для этого случая, показывают, что понадобится маховик массой 500 кг или диаметром 2,2 м. Зависимость $N=f(J)$, имеет своей асимптотой среднюю мощность привода [4], которая в этом случае равна 0,7 кВт. Наш опыт вычисления параметров маховика показывает, что эти результаты практически не достижимы из-за больших масс и размеров маховика.

Полученные расчетом, параметры маховика используются в качестве исходных данных при конструкторской проработке привода с маховичным накопителем энергии. Уточненные значения моментов инерции и, соответственно, мощности привода могут быть получены после того, как будут разработаны все детали привода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Синицын В.Ф. Имитационная модель процесса взаимодействия с древостоем фрезы машины для срезки древесной растительности типа ЭСЛ // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. №S10. С. 164-174.

2. Синицын В.Ф. Имитационная модель процесса взаимодействия с древостоем фрезы машины для срезки древесной растительности типа ЭСЛ // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. 2010. №6. С. 111-114.

3. Синицын В.Ф., Авдейчик Е.И. Устройство для сводки древесной растительности // Патент на полезную модель RU 86069 U1, 27.08.2009. Заявка № 2009114663/22 от 20.04.2009.

4. Синицын В.Ф., Копенкина Л.В. [Средняя мощность машины для срезки древесной растительности](#) // В сборнике: Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики. Сборник научных трудов 15-й международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. Под общей редакцией д.т.н., проф. А.Б. Копылова, к.т.н., доц. И.А. Басалай. 2019. С. 66-71.

УДК 621.512

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ КЛАПАНА ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРА

Сокерина О. В., ст. преп., **Хазин М. Л.**, проф., **Волегов С. А.**, доцент
Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

Поршневые компрессоры используются в горнопромышленной отрасли. Основные требования к клапанам компрессора: долговечность и надежность. Пластины клапана подвергаются значительным циклическим нагрузкам, требующим применения высокопрочных материалов. Рассчитали эквивалентное напряжение по четвертой теории прочности для клапана ПИК 180-1,6А1 с учетом входных данных.

Ключевые слова: механические свойства, сталь, клапан, нагрузка ударная, изгиб.

PISTON COMPRESSOR VALVE PARAMETERS CHOICE

Sokerina O. V., Khazin M. L., Volegov S. A.

Piston compressors are used in the mining industry. The main requirements for compressor valves are durability and reliability. The valve plates are subjected to significant cyclic loads, requiring the use of high-strength materials. The equivalent stress was calculated according to the fourth strength theory for the PIK-180-1.6A1 valve, taking into account the input data.

Keywords: mechanical properties, steel, valve, impact load, bending.

Поршневые компрессоры используются в горной, дорожно-строительной, металлургической, химической и др. отраслях промышленности, вследствие их простоты и надежности. Важнейшим узлом поршневого компрессора является клапан [1], отказы которого (в основном пластинок) составляют до 60 % от общего числа отказов [2]. В настоящее время наиболее распространенным вариантом являются самодействующие клапаны и, в частности, лепестковые клапаны типа ПИК. Пластины клапанов данной модели являются основным элементом конструкции, обеспечивающим герметичность и эффективность работы компрессора. В процессе эксплуатации пластины подвергаются значительным циклическим и ударным нагрузкам, что приводит к их разрушению [3, 4]. Поэтому к материалу пластин предъявляют жесткие требования по усталостной и изгибной

прочности. Вследствие этого, для пластин клапанов ПИК используют высококачественные стали марок X15NH9Ю, У8А, Sandvik Hiflex, Sandvik 20C, Sandvik 7C27Mo2, AISI 420 [3, 4].

Цель работы – определить нагрузку, возникающую в пластинах клапанов ПИК во время работы, оценить ее влияние на прочность пластины и обосновать рациональный выбор материала.

Пластина клапанов ПИК представляет собой жестко закрепленную между плитами седла полосу с язычками (рис. 1). В среднем, клапаны моделей ПИК 140-0,4, ПИК 165-0,4, ПИК 180-0,4 и т. д, содержат от 20 до 90 язычков, каждый из которых можно представить в виде консольно закрепленной балки, нагруженной распределенной нагрузкой, которая достигает максимума на свободном конце. Поэтому, в качестве модели, принимаем треугольное распределение нагрузки (рис. 2).

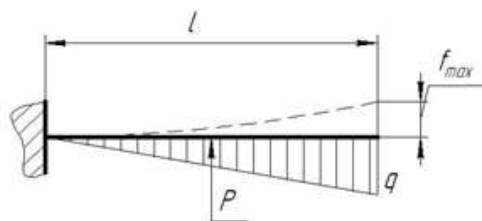
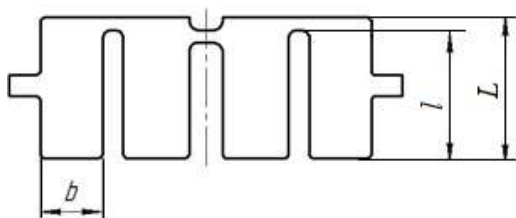


Рис. 1. Пластина прямооточного клапана ПИК Рис. 2. Расчетная схема пластины.

В процессе эксплуатации пластины подвергаются изгибам и ударам при контакте с ограничителем. При этом ударная нагрузка распределяется не по всей площади пластины, а только на участке контакта.

Условие работоспособности пластины выразим в виде

$$\sigma_d < [\sigma], \#(1)$$

где σ_d – напряжение, действующее на пластину в процессе эксплуатации, $[\sigma]$ – допускаемое напряжение.

Поскольку давление распределяется по пластине неравномерно, распределенная нагрузка имеет вид

$$q(x) = \Delta p \cdot b, \#(2)$$

где b – ширина пластины, Δp – перепад давлений. Тогда сила, действующая на элемент пластины длиной dx :

$$dF = q(x) \cdot dx = \Delta p \cdot b \cdot dx, \#(3)$$

Сила, действующая на пластину:

$$F = \int_0^l \Delta p \cdot b \cdot dx, \#(4)$$

где l – длина свободного конца пластины (консоли). Поэтому сила, действующая на один из n язычков:

$$F_{\text{пласт}} = \frac{F}{n}, \#(5)$$

Изгибающий момент, действующий в произвольном сечении ξ язычка на расстоянии x от заделки, определяется как [5]:

$$M(x) = \int_x^l q(\xi) \cdot b \cdot (\xi - x) d\xi, \quad (6)$$

С учетом формулы (2), получаем:

$$\begin{aligned} M(x) &= \Delta p \cdot b \cdot \int_x^l \left(\frac{\xi^2}{l} - \frac{x\xi}{l} \right) d\xi = \Delta p \cdot b \cdot \left[\frac{\xi^3}{3l} - \frac{x\xi^2}{2l} \right]_x^l = \\ &= \Delta p \cdot b \cdot \left(\frac{l^2}{3} - \frac{xl}{2} - \frac{x^3}{6l} \right). \#(7) \end{aligned}$$

Максимальный изгибающий момент для одного язычка соответствуют месту заделки ($\xi = x = 0$):

$$M_{max} = \Delta p \cdot b \cdot \frac{l^2}{3 \cdot n}. \#(8)$$

Соответственно, максимальные напряжения изгиба в месте заделки:

$$\sigma_{изг} = \frac{M_{max}}{W} = \frac{2 \cdot \Delta p}{n} \left(\frac{l}{h} \right)^2, \#(9)$$

где W – осевой момент сопротивления, h – толщина пластины (язычка).

При открытии клапана, язычок ударяется об ограничитель хода, вызывая дополнительные напряжения от ударной нагрузки. Определим скорость v пластины в момент удара, выразив ее из уравнения потенциальной энергии деформации пластины:

$$E_{пот} = \frac{1}{2} \cdot k \cdot f_{max}^2, \#(10)$$

где k – жесткость пластины, $k = \frac{3 \cdot E \cdot I}{l^3}$; E – модуль упругости материала пластины; I – момент инерции пластины, $I = \frac{b \cdot h^3}{12}$; f_{max} – величина максимального изгиба.

Приравняв потенциальную энергию деформации пластины к кинетической энергии ($E_{пот} = E_{кин}$), с учетом её массы m , окончательно получим:

$$\frac{E \cdot b \cdot h^3}{8 \cdot l^3} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2, \#(11)$$

откуда

$$v = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{E \cdot b \cdot h^3}{l^3 \cdot m}}. \#(12)$$

Напряжения $\sigma_{удар}$, возникающие под действием силы $F_{удар} = \frac{m \cdot v}{\Delta t}$ за время удара Δt :

$$\sigma_{удар} = \frac{F_{удар}}{A_{конт}}. \#(13)$$

Неполный контакт пластины с ограничителем учитываем через длину $L_{конт}$ и площадь контакта $A_{конт}$ при изгибе пластины с радиусом кривизны R :

$$L_{\text{конт}} \approx \sqrt{2R \cdot f_{\text{max}}}, \#(14)$$

$$R = \frac{E \cdot I}{M_{\text{max}}}, \#(15)$$

$$A_{\text{конт}} = b \cdot L_{\text{конт}} = b \cdot \sqrt{2R f_{\text{max}}} = b \cdot \sqrt{\frac{2E \cdot I \cdot f_{\text{max}}}{M_{\text{max}}}} = \sqrt{\frac{E \cdot b^3 \cdot h^3 \cdot f_{\text{max}}}{6 \cdot M_{\text{max}}}}. \#(16)$$

Согласно четвертой теории прочности, эквивалентное напряжение пластины примет вид:

$$\sigma_{\text{экр}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{(\sigma_{\text{изгиб}} + \sigma_{\text{удар}})^2 + 3\tau^2}, \#(17)$$

где τ – касательные напряжения, $\tau = \frac{3 \cdot F_{\text{пласт}}}{2 \cdot b \cdot l}$.

Тогда, с учетом утечек условие (1) принимает вид:

$$\sigma_{\text{д}} = \sigma_{\text{экр}} \eta, \quad (18)$$

где η – изотермический КПД, обычно принимаемый 0,7 [1].

Рассмотрим клапан ПИК 180-1,6А1 с параметрами: длина $l = 54$ мм, ширина язычка $b = 25$ мм ($n = 50$ шт.), толщина пластины $h = 0,4$ мм, перепад давления $\Delta p = 1,6$ МПа. Согласно проведенному расчету эквивалентные напряжения составляют 887 МПа. Таким образом, для изготовления данных пластин можно использовать сталь У8А (допускаемое напряжение 1021 МПа), или сталь 60С2А (допускаемое напряжение 1220 МПа) [6].

Список литературы

1. Пластилин П. И. Поршневые компрессоры. Том 1. Теория и расчет. - 3-е изд., доп. – Москва: КолосС, 2013. - 456 с.
2. Хазин М. Л., Волегов С. А., Сокерина О. В. Анализ причин неисправности клапанов поршневых компрессоров и пути улучшения их конструкции // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 1-1. – С. 21–33. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_011_0_21.
3. Sawant O., Mane P., Verma U. Fatigue Modelling of Reed Valve as a Function of Crank Angle for Piston Compressor // International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). 2021. Vol. 08, no. 08, pp. 1010-1015.
4. Shukla A., Parayil P., Goel A., Sharma K. Dynamic Behavior of In-Cylinder Pressure Causing Fatigue Failure of Reed Valves // SAE Technical Paper. 2020. 2020-28-0031, <https://doi.org/10.4271/2020-28-0031>. DOI: <https://doi.org/10.4271/2020-28-0031>.
5. Феодосьев В. И. Сопротивление материалов: Учеб. для вузов. - 10-е издание, перераб. и доп. - М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999. – 592 с.
6. Марочник сталей и сплавов. Под общ. ред. А. С. Зубченко, 2-е изд. доп. и испр. М.: Машиностроение, 2003, - 784 с.

УДК: 622.23.05

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ФУТЕРОВКИ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СКИПАМ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК

Фролова А.Ю., аспирант, Зотов В.В., канд.техн. наук, доцент
НИТУ «МИСиС», г. Москва

Интенсификация работы на предприятии горнодобывающей отрасли связано не только с совершенствованием технологических решений на предприятии, но и с сокращением времени переходных процессов, вспомогательных операций и технологических простоев оборудования. Рост производительности добывающего оборудования на действующем предприятии имеет ряд ограничений по местным условиям. В этой цепи наиболее узким местом является вертикальный рудничный подъем, малоприспособленный для радикального изменения схем транспортирования. Основным методом повышения его производительности является интенсификация использования путем сокращения времени погрузки/разгрузки и снижения длительности сервисных операций, что не может не сказываться на ресурсе основных узлов и механизмов. В статье рассматриваются вопросы повышения надежности футеровки транспортных емкостей с применением современных высокопрочных материалов.

Ключевые слова: Подъемные установки, футеровка, моделирование напряженного состояния, деформация, напряженное состояние.

COMPARATIVE ASSESSMENT OF LINING FROM HIGH-STRENGTH MATERIALS IN RELATION TO SKIPS OF HOISTING PLANTS

Frolova A.Yu., Zotov V.V.

Intensification of work at a mining enterprise is associated not only with the improvement of technological solutions at the enterprise, but also with reducing the time of transient processes, auxiliary operations and technological downtime of equipment. Increasing the productivity of mining equipment at the existing enterprise has a number of limitations due to local conditions. The most bottleneck in this chain is the vertical mine lift, which is not suitable for radical changes in conveying schemes. The main method of increasing its productivity is intensification of its use by reducing the time of loading/unloading and reducing the duration of service operations, which cannot but affect the resource of the main units and mechanisms. In the article the questions of increasing reliability of lining of transport vessels with application of modern high-strength materials are considered.

Keywords: Lifting installations, lining, stress state modelling, deformation, stress state.

Интенсивный износ вследствие указанных выше причин распространяется не только на узлы трения механизмов, но и на транспортные емкости. Конструкция транспортных емкостей предусматривает установку защитных элементов, называемых футеровкой скипа. Футеровочные пластины предназначены для защиты транспортных емкостей от истирания и для восприятия ударной нагрузки при транспортировании горной массы [1]. В процессе эксплуатации футеровка подлежит регламентной замене по мере износа и внеплановым ремонтам при выходе из строя отдельных ее элементов. Согласно статистическим данным, почти в 70% случаев повреждение защитных элементов вызвано ударными нагрузками, возникающими при перегрузке породы в емкость [2]. Моделирование показывает, что при массе куска породы от 100 кг возникают высокие деформации в точках крепления футеровочных пластин, приводящие к износу посадочных отверстий, болтов и к изменениям геометрии пластины вплоть до полного

разрушения элемента футеровки [3, 4]. Для изготовления указанных элементов применяется широкий спектр сплавов железа, от ковкого чугуна до широко известных иностранным брендам износостойких сталей. Показано цифровое моделирование нагруженного состояния образцов наиболее часто применяемых сплавов (рис. 1), для оценки пороговых критических значений деформации и напряжений в образцах [5].

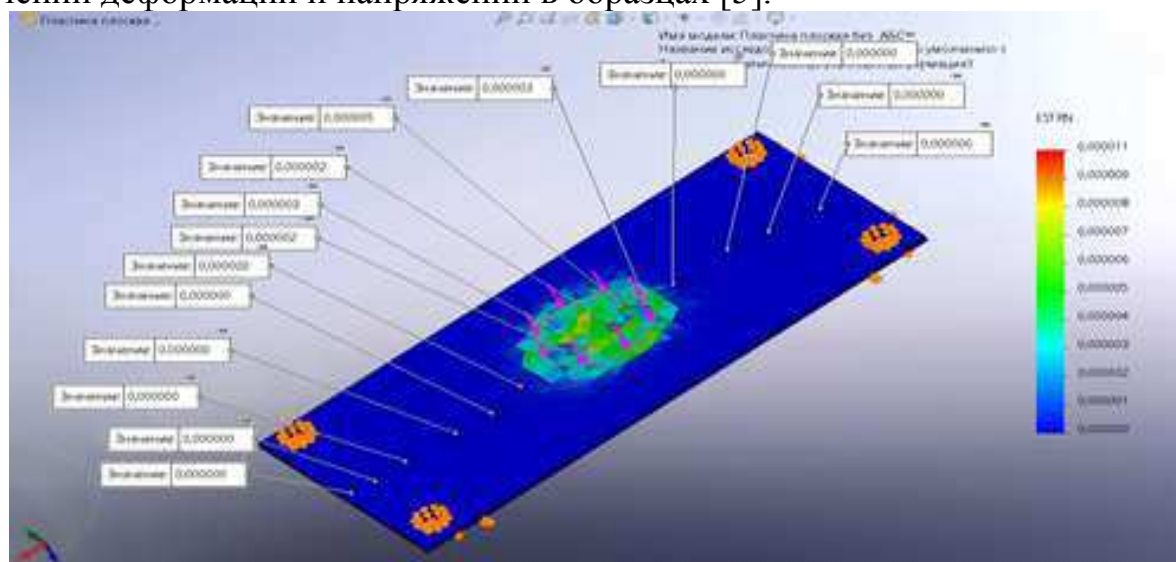
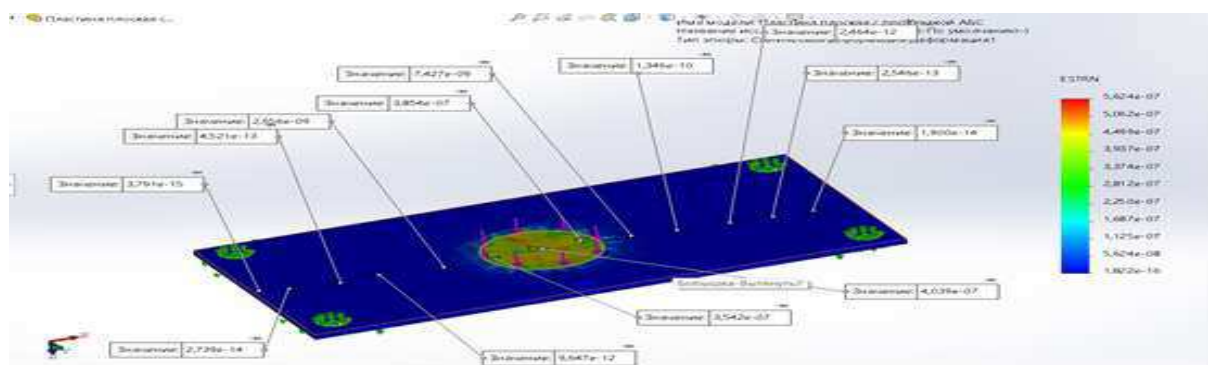


Рис. 1. Цифровая модель футеровочной пластины

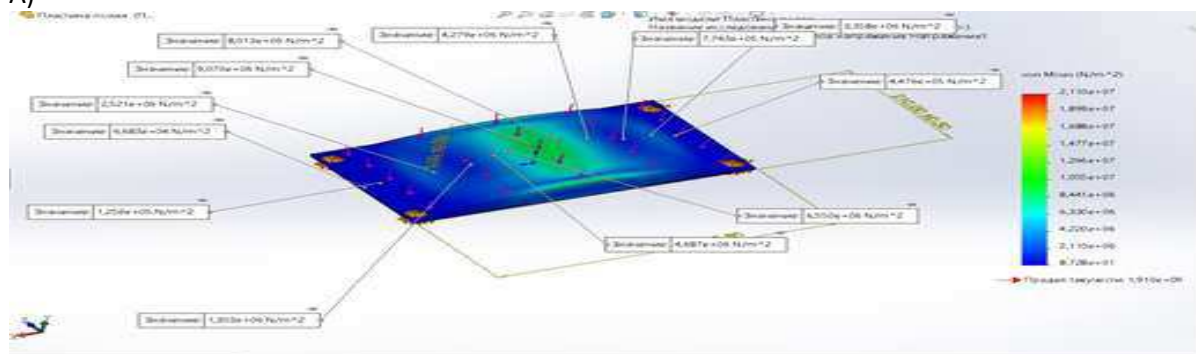
В процессе моделирования был произведен сравнительный анализ распределения ударной нагрузки при различных вариантах демпфирования в том числе с применением композиционных материалов по схеме металл-полимер-металл. Произведены замеры напряжений и деформаций образца от центра к краю пластины по длинной стороне при моделировании ударной нагрузки, имитирующей падение куска породы на футеровку, расположенную горизонтально на жестких опорах [6]. На основании выполненного цифрового моделирования сделан вывод об однозначной применимости демпфирования (рис. 2). Составлены эпюры эквивалентных деформаций образцов идентичных размеров с применением различных методов демпфирования ударных нагрузок применительно к футеровке выполненной из стали X38CrMoV5-1 (рис 3).

Идентичные измерения с применением инструментов зондирования были проведены для перемещений участков поверхности образца от центра к краю и определены изменения деформаций по длине образцов футеровки.

Поскольку образцы являются твердыми телами с известной толщиной, то величины измеренных напряжений на поверхности образца не отображают в полной мере всех изменений деформированного тела [7,8]. Поэтому для получения достоверной картины деформаций образцов был применен метод оценки эквивалентных деформаций (ESTRN). Эквивалентная деформация представляет собой геометрически усредненную величину сумм нормальных деформаций по осям координат [9].



А)



Б)

Рис.2 Модель пластины: А) – пластина с демпфером толщиной 1мм, Б)- пластина с куполообразным наплывом

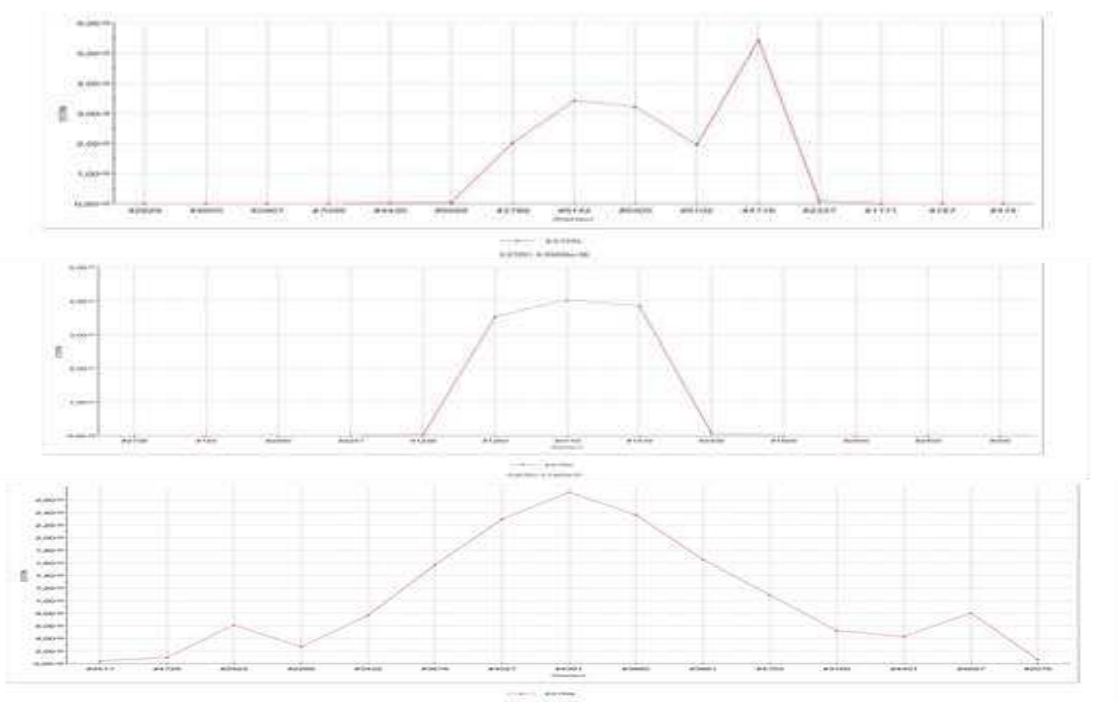


Рис.3 Эпюры деформации образцов по продольной оси

Заключение

По результатам проведенной работы можно сделать вывод о необходимости применения демпфирования ударных нагрузок для повышения надежности эксплуатации транспортных емкостей.

Применение демпфирования позволяет снижать износ образцов. Сопоставимые значения снижения эквивалентных деформаций и перемещений образцов требуют дополнительного экономического обоснования применения того или иного типа демпферов. Так как в случае применения формованных пластин происходит снижение удельного объема транспортируемой горной массы на 2-4 %, а при применении листового демпфирующего слоя происходит увеличение массы футеровки на 2,3 % при соотношении толщины футеровки к демпферу в пропорции 1/5. Однако полученные результаты говорят о возможности нивелирования упомянутых негативных эффектов за счет уменьшения толщины футеровки на 2 %, что позволит снизить эксплуатационные расходы.

Список литературы

1. Картавый Н.Г., Зотов В.В. Повышение технического уровня шахтных подъемных установок при замене канатов резинотросовыми лентами // Горное оборудование и электромеханика. – 2008. – № 11. – С. 6-10.
2. Зотов В.В. Математическая модель подъёмной установки с резинотросовой лентой // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № S16. – С. 300-309.
3. Волков В.В., Остапенко А.А., Волков Д. В. Значительное повышение производительности скиповых подъемных установок может быть получено минимальными затратами // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2000. – № 4. – С. 6.
4. Привалов А.А., Волков В.В., Волков Д.В. Повышение производительности скиповой подъемной установки // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 3. – С. 306-309.
5. Зиборова Е.Ю., Мнацаканян В.У. Обоснование геометрических параметров футеровочных пластин приводного барабана ленточного конвейера // Горные науки и технологии. – 2022. – Т. 7, № 2. – С. 170-179. – DOI 10.17073/2500-0632-2022-2-170-179.
6. Прушак В.Я. Комплекс оборудования скиповой подъемной установки // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № S6. – С. 176-178.
7. Семакин М. С. Шахтные скипы высокой эксплуатационной надежности // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № 12. – С. 145-147.
8. Сарычев В.Д., Грановский А.Ю., Невский С.А. Построение математической модели износа внутренних поверхностей ковша экскаватора // Горный журнал. – 2019. – № 8. – С. 70-73. – DOI 10.17580/gzh.2019.08.13.
9. Картавый Н. Г., Зотов В.В. Применение резинотросовых тяговых лент на подъемных установках // Горный журнал. – 2009. – № 1. – С. 75-78.

УДК 622.29

КЛЮЧЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННЫХ ШАХТНЫХ СПАСАТЕЛЬНЫХ РОБОТОВ: РОЛЬ И ВЫЗОВЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Чжэн Дундун¹ аспирант (Китай), Лагунова Ю.А.^{1,2}, д-р техн. наук, проф.

¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ

²ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, РФ

Проанализировано современное состояние развития взрывозащитных технологий для шахтных спасательных роботов с акцентом на ключевую роль искусственного интеллекта (ИИ) в проектировании таких систем и связанные с этим вызовы. Исследование показывает, что технологии ИИ, включая динамическое прогнозирование рисков, интеллектуальную оптимизацию структур и автономное принятие решений, значительно повышают безопасность и адаптивность роботов во взрывоопасных средах. Однако их практическое внедрение ограничивается сложной адаптацией к условиям среды, низкой эффективностью мультимодального слияния данных, а также этическими и правовыми ограничениями. Для дальнейшего прогресса требуется междисциплинарный подход, направленный на интеграцию взрывозащитных технологий и ИИ.

Ключевые слова: шахтные спасательные роботы; взрывозащитные технологии; искусственный интеллект; адаптивность к среде; мультимодальное слияние

KEY TECHNOLOGIES FOR DESIGNING EXPLOSION-PROOF MINE RESCUE ROBOTS: THE ROLE AND CHALLENGES OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Zheng Dongdong, Lagunova Yu. A.

This paper systematically analyses the current state of development of explosion-proof technologies for mine rescue robots, focusing on the key role of artificial intelligence (AI) in the design of such systems and the associated challenges. The study shows that AI technologies, including dynamic risk prediction, intelligent structural optimisation and autonomous decision making, significantly improve the safety and adaptability of robots in explosive environments. However, their practical implementation is limited by complex adaptation to the environment, low efficiency of multimodal data fusion, and ethical and legal constraints. Further progress requires an interdisciplinary approach to integrate explosion protection technologies and AI.

Keywords: mine rescue robots; explosion protection technologies; artificial intelligence; environmental adaptability; multimodal data fusion.

В спасательных операциях на шахтах роботы являются ключевым оборудованием для обеспечения безопасности персонала и повышения эффективности поисково-спасательных работ. Однако высокая концентрация горючих газов (например, метана) и угольной пыли в подземных условиях создает серьезные требования к безопасности роботов. Современные взрывозащитные технологии (например, взрывонепроницаемые и избыточного давления конструкции) обеспечивают базовую защиту (рис. 1), но имеют недостатки, такие как избыточная масса и низкая динамическая производительность. Внедрение ИИ открывает новые пути решения этих проблем, однако вопросы обобщающей способности алгоритмов в сложных условиях и определения этической ответственности требуют дальнейшего изучения.

Современное состояние взрывозащитных технологий для шахтных роботов. Классификация и ограничения традиционных технологий. Основные типы взрывозащитных технологий включают:

взрывонепроницаемые конструкции: изоляция внутреннего взрыва за счет усиленного корпуса, но масса таких систем достигает 60 % от общей массы робота;

конструкции избыточного давления: использование постоянного давления для блокировки внешних газов, требующее стабильного источника воздуха;

искробезопасные системы: ограничение мощности цепи (<18 Вт) для предотвращения искр, что не соответствует требованиям к мобильным роботам;

гибридные системы: комбинация методов, но с повышенной структурной сложностью.

Исследования показывают, что применение легких материалов (например, высокопрочных алюминиевых сплавов) и гибридных энергосистем (литий-железо-фосфатные батареи с суперконденсаторами) способно снизить массу и улучшить динамику роботов [1–2].

Тенденции оптимизации взрывозащитных корпусов.

Современные разработки сосредоточены на облегчении материалов и оптимизации структур. Например, статическая технология избыточного давления, предложенная Ван Чанлуном [3], снижает массу корпуса без ущерба защите. Ань Юйси [4] подтвердил возможность уменьшения толщины стальных конструкций методом конечных элементов. Однако сталь остается доминирующим материалом, что требует разработки композитных аналогов.



Рис. 1. Робот-спасатель во взрывозащищенном корпусе

Ключевая роль ИИ в проектировании взрывозащитных систем.

Интеллектуальная навигация и динамическое избегание препятствий: Технология 3D SLAM на основе ИИ повышает точность навигации в разрушенных выработках. Оптимизация графов поз и алгоритмы циклозамыкания снижают вычислительную сложность и улучшают дистанционное управление [5].

Динамическое прогнозирование взрывных рисков: Модели ИИ, объединяющие данные мультимодальных датчиков (газ, температура, акусти-

ка), оценивают риски в реальном времени. Например, система Zhao [6] использует нейросетевые алгоритмы для адаптивного предупреждения о концентрации метана [7].

Интеллектуальная оптимизация взрывозащитных структур: ИИ предлагает инновационные подходы.

Топологическая оптимизация: проектирование легких корпусов с использованием анализа напряжений и генетических алгоритмов [8];

Двухмоторные гусеницы: алгоритмы деревьев решений для переключения режимов, совмещающая защиту и проходимость [9].

Вызовы, перспективы и технические ограничения.

Низкая адаптивность к среде: пыль, высокая температура и сложности сбора данных снижают обобщающую способность моделей ИИ.

Низкая эффективность мультимодального слияния: обработка звуковых, оптических и газовых данных в реальном времени требует высокой вычислительной мощности.

Этико-правовые вопросы. Ответственность за автономные решения: необходимо четкое определение прав робота на принятие решений. Конфиденциальность данных: обработка геоданных шахт должна соответствовать международным стандартам.

Заключение

ИИ обеспечивает инновационные решения для проектирования взрывозащищенных шахтных роботов, однако внедрение ограничивается техническими и этико-правовыми факторами. Перспективные направления включают: разработку легких материалов и гибридных энергосистем; создание мультимодальных наборов данных для обучения ИИ; формирование этических рамок и стандартов безопасности данных.

Список литературы

1. Чжао Фэн. Исследование гибридных источников питания для шахтных роботов // Шахтная техника, 2011, 32(12): 60–62.
2. Лу Хуайминь и др. Исследование источников питания для шахтных спасательных роботов // Автоматизация горного дела, 2013, 39(7): 38–42.
3. Ван Чанлун и др. Применение статической технологии избыточного давления в шахтных роботах // Угольная промышленность, 2009, 41(11): 96–98.
4. Ань Юйси и др. Облегчение конструкции взрывозащитных корпусов // Шахтное электрооборудование, 2016(1): 38–40.
5. Li M. и др. Эффективная 3D SLAM на основе лазера для шахтных роботов // IEEE Access, 2019, 7: 14124–14138. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2889304
6. Zhao J. и др. Система роботов для поиска и спасения в угольных шахтах // Sensors, 2017, 17(10): 2426. <https://doi.org/10.3390/s17102426>
7. Применение искусственного интеллекта для повышения безопасности проведения горных работ / Д. Чжэн, Ю. А. Лагунова // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горно-шахтного и нефтепромыслового оборудования. – 2024. – С. 102–108.
8. Li Y. T. и др. Инновационная гусеничная система для шахтных роботов // Journal of Central South University, 2016, 23: 2570–2577. <https://doi.org/10.1007/s11771-016-3318-3>
9. Li Y. T. и др. Топологическая оптимизация легких взрывозащитных корпусов // Journal of Central South University, 2016, 23: 2570–2577. <https://doi.org/10.1007/s11771-016-3318-3>

УДК.62-2:628.3

КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ РЕМОНТА ПЛАСТИКОВОЙ ТЯГОВОЙ ЦЕПИ

Савинова Н. В.^{1,2}, Тарасов С. А.²

¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ

²УНМ «М-ЛАБС»

Рассмотрены конструктивные решения для ремонта пластиковых тяговых цепей, используемых в агрессивных средах. Суть предложенных решений заключается в замене цельнолитых звеньев на звенья, собранные из одинаковых деталей. Детали предлагается изготавливать из листового и стержневого полиэтилена низкого давления, что минимизирует количество необходимой механической обработки. Представлено сравнительное исследование напряженно-деформированного состояния звеньев при различных нагрузках, позволяющее оценить эффективность предложенных конструктивных решений и их применимость в реальных условиях эксплуатации.

Ключевые слова: тяговые цепи, импортозамещение, высокомолекулярный полиэтилен, расчетные 3D модели.

DESIGN SOLUTIONS FOR THE REPAIR OF PLASTIC DRAG CHAINS

Savinova N.V., Tarasov C. A.

The article describes constructive solutions for repair of plastic drag chains used in aggressive environments. The essence of the proposed solutions is the replacement of one-piece links with links assembled from identical parts. The details are proposed to be made of sheet and rod low-pressure polyethylene, which minimizes the amount of necessary mechanical processing. The paper presents a comparative study of the stress-strain state of the links under different loads, which allows to evaluate the effectiveness of the proposed design solutions and their applicability in real operating conditions.

Keywords: drag chains, import substitution, high molecular weight polyethylene, calculated models.

Пластиковые тяговые цепи, изготовленные из специальных полимеров, обладают рядом преимуществ по сравнению с металлическими аналогами. Полимерные материалы, используемые в производстве пластиковых цепей, устойчивы к воздействию кислот, щелочей и других агрессивных веществ, что делает их идеальными для использования в химически активных средах. Пластиковые цепи обеспечивают пониженный уровень шума при работе механизмов, что важно в производственных условиях с интенсивными процессами. Современные полимеры обладают высокой прочностью и сопротивлением к абразивному износу, имеют низкий коэффициент трения, что приводит к снижению энергопотребления механизмов. Они могут работать в широком диапазоне температур. Производятся такие цепи методом литья или штамповки.

Рассмотрено применение тяговых цепей в скребковых системах, используемых в очистных сооружениях, таких как песколовки, илоуплотнители, нефтеуловители и другие аналогичные устройства. В песколовках цепи обеспечивают непрерывное удаление песка и гравия, предотвращая засорение последующих этапов очистки. В илоуплотнителях они используются для сгущения осадка, уменьшая его объем перед обезвоживанием.

В нефтеуловителях цепи скребками собирают нефтяные пленки с поверхности воды.

В горизонтальных отстойниках скребки, которые крепятся на цепи, перемещаются по дну, обеспечивая уплотнение отложений и их перемещение в специально отведенное место. В отстойниках радиального типа процесс очистки осуществляется по круговой траектории (рис. 1).

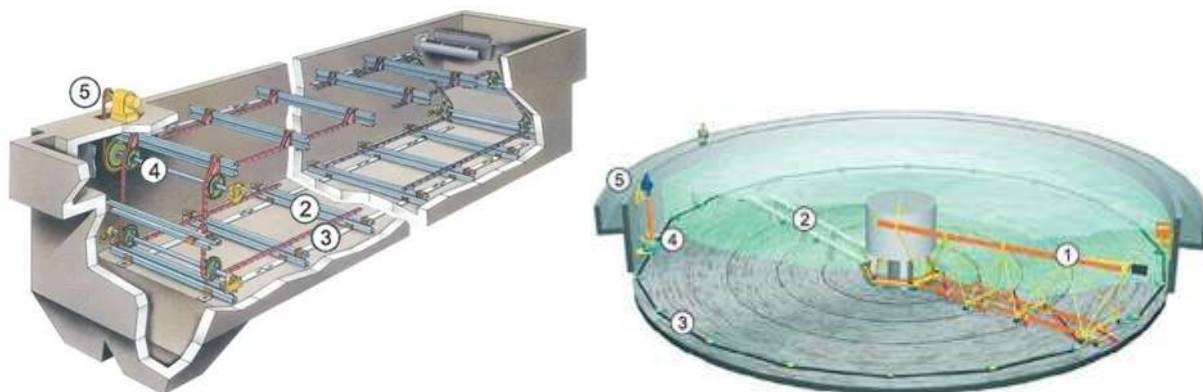


Рис. 1. Скребок механизмы в отстойниках: 1 – устройство сбора взвешенных частиц, 2 – скребки; 3 – пластиковая цепь; 4 – ведущее колесо; 5 – привод механизма

До недавнего времени основным производителем цепей такого типа было несколько предприятий в Финляндии. На сегодня доступ ремонтных комплектов в России крайне сложен. Реверсивный инжиниринг звеньев произвести не трудно, сложнее наладить производство, связанное с необходимым оборудованием и оснасткой, то есть с финансовыми и временными затратами. Поэтому в переходный период можно воспользоваться иными вариантами выполнения необходимого ремонта.

На рисунке 2 показано оригинальное звено цепи и разрабатываемая альтернативная конструкция.

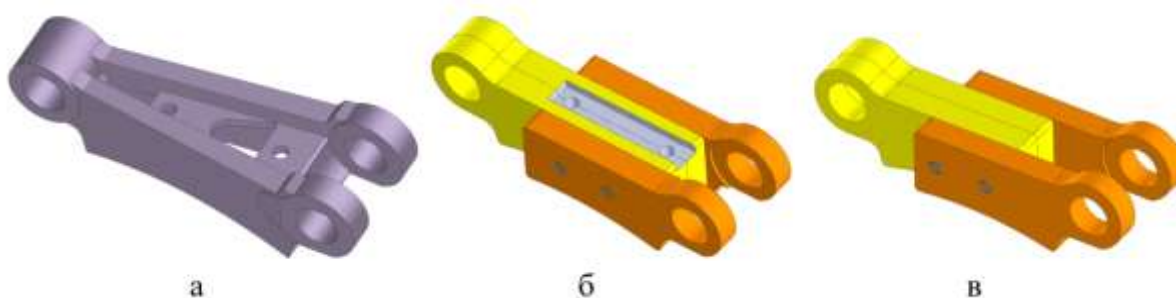


Рис. 2. Звенья цепи

а – звено пластиковой цепи; б – несущее звено; в – промежуточное звено

В качестве альтернативного решения для разработки конструкции звена предлагается использовать сверхвысокомолекулярный полиэтилен низкого давления РЕ 1000. Это универсальный пластик для изготовления любых элементов скольжения. Его ключевыми особенностями являются повышенная устойчивость к износу, минимальное водопоглощение и значительная механическая прочность. Этот материал хорошо переносит гамма-излучение и действие химически агрессивных сред, сохраняет свои

свойства при низкой температуре. Высокомолекулярный полиэтилен производится в виде листов, плит и стержней определенных размеров.

В таблице приведены физико-механические свойства материала PE 1000.

Характеристики	PE 1000
Плотность, г/см ³	0,93
Модуль упругости, МПа	750
Коэффициент Пуассона	0,44
Динамический коэффициент трения	0,09-0,17
Предел текучести, МПа	17
Предел прочности при сжатии, МПа	30
Предел прочности при растяжении, МПа	19
Температурный коэффициент линейного расширения, 1/°C	$1,8 \cdot 10^{-4}$
Теплопроводность, Вт/(°C·мм)	$4 \cdot 10^{-4}$
Удельная теплоемкость, Дж/(кг·°C)	1700
Температура эксплуатации, °C	-200...+80
Деформация при разрыве, %	>250

Альтернативная конструкция представляет собой сборочную единицу, состоящую из однотипных центральных и боковых частей, соединенных между собой цилиндрическими штифтами. Все части могут быть изготовлены из листа толщиной 20 мм. Листы такой толщины легко режутся на заготовки для последующей механообработки по контуру, таким образом, исключаются операции снятия материала с боковых поверхностей деталей. На фрезерном станке с ЧПУ можно выполнять обработку деталей. Для штифтов достаточно использовать стержневой материал диаметром 10 мм.

При разработке модели нагружения для анализа напряженно-деформированного состояния звеньев были сделаны следующие допущения. Во-первых, тяговое усилие в цепи принималось по напряжению, достигающему предела текучести материала звена. Во-вторых, предполагалось отсутствие внутренних напряжений в материале звена до приложения нагрузки. В расчетах не учитывались поперечные силы. Рассматривались два варианта нагружения проушины звена: с равномерным распределением давления по контактной поверхности и с точечным приложением нагрузки.

На рисунке 4 показаны выборочные результаты расчетов в виде конечно-элементной сетки и карт напряжений по Мизесу. Для корректности анализа все карты показаны в единой шкале результатов.

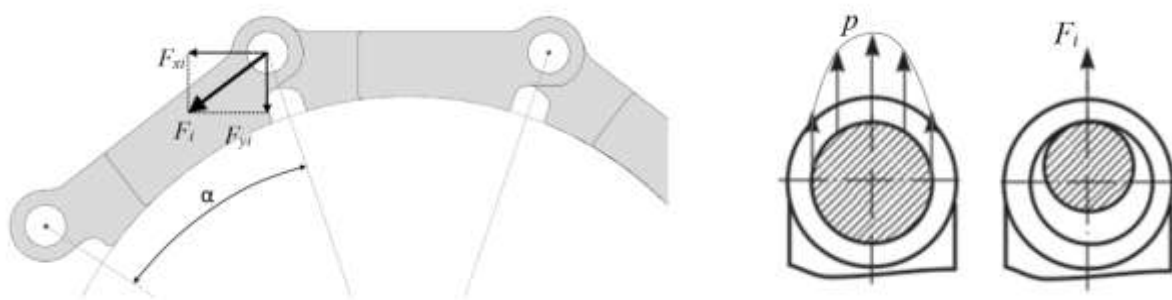


Рис. 3. К модели нагружения

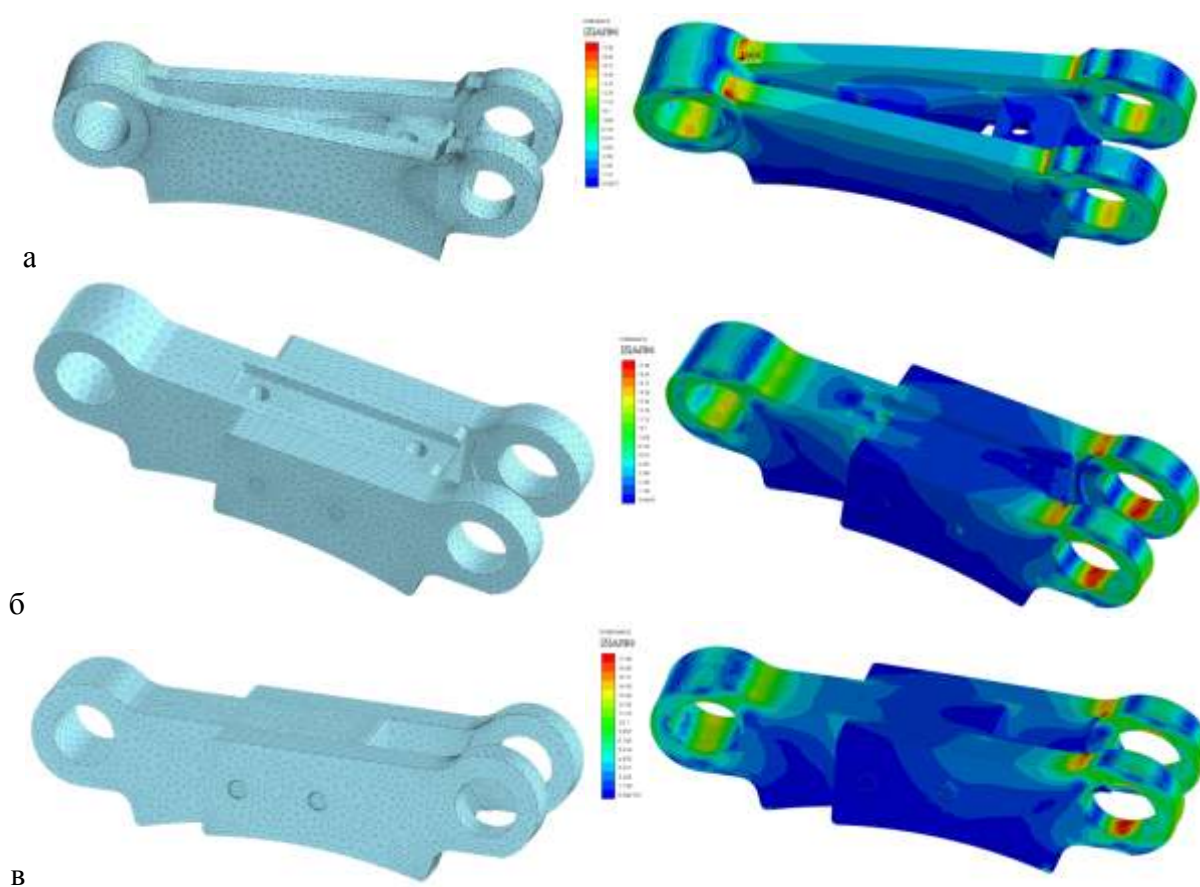


Рис. 4. Выборочные примеры результатов расчетов
а – звено пластиковой цепи; б – несущее звено; в – промежуточное звено

На основании проведенных расчётов на прочность можно сделать следующие выводы:

1. Из минусов полученной конструкции нужно отметить увеличение массы звена на 45 %.

2. К достоинствам отнесем доступность материала необходимых размеров, однотипность деталей, их несложное изготовления и легкая сборка конструкции, что обеспечивает быстрое выполнение ремонта.

3. Полученная конструкция аналогично оригинальной справляется с внешними нагрузками.

4. В проушинах боковых деталей альтернативной конструкции зона повышенных напряжений растяжения больше по площади и на 16 % выше по максимальным напряжениям, чем в исходной конструкции. Зоны носят локальный характер и не влияют на прочность конструкции в целом. Эффект связан с меньшей толщиной проушины новой конструкции, что связано с толщиной листовой заготовки.

5. Оценка работы штифтового соединения проводилась традиционными методами. Соединение проверялось на смятие и на срез. Напряжения смятия составили 12 % от максимального значения в конструкции. Напряжения среза 59 %, что соответствует $\tau = (0,5 \dots 0,6)\sigma$.

В ходе проведенной работы был предложен метод модернизации звена тяговой цепи для выполнения ремонтных работ. Это позволит временно улучшить их эксплуатационные характеристики в тяжелых условиях за счет упрощения конструкции и применения передовых материалов.

Список литературы

1. Спиваковский А. О. Транспортирующие машины: учебное пособие для машиностроительных вузов / А.О. Спиваковский, В.К. Дьячков – 3-е изд. Перераб. – М.: машиностроение, 1983. – 487 с., ил.

2. Иванов М.Н. Детали машин: Учебник для машиностроительных специальностей вузов / М.Н. Иванов, В.А. Финогенов — 12-е изд. испр. — М.: Высш. Шк., 2008 — 408 с., ил.

3. Научно-производственное объединение «Эководпром»: [сайт]. — 2015. — URL: <http://ekovodprom.com/production/oborudovanie-dlya-peskolovok/skrebkovie-mehanizmi-tsepnogo-tipa.html> (дата обращения: 22.02.2025). Текст: электронный.

4. ООО «Эй Пи Си Групп»: [сайт]. — 2003. — URL : <https://plastimet.ru/polyetilen/svmpe.html> (дата обращения: 10.12.2024). Текст: электронный.

5. American Water Chemicals: [сайт]. — 2025. — URL : [https://www.membranechemicals.com/water-treatment/oil-removal-systems/?_escaped_fragment_](https://www.membranechemicals.com/water-treatment/oil-removal-systems/?_escaped_fragment_=) (дата обращения: 22.02.2025). Текст: электронный.

УДК 621.879.31

ОБ ИЗМЕНЕНИИ УГЛА РЕЗАНИЯ ПРИ КОПАНИИ ГИДРАВЛИЧЕСКИМ ЭКСКАВАТОРОМ С РАБОЧИМ ОБОРУДОВАНИЕМ ОБРАТНАЯ ЛОПАТА

Муравский А.К., канд. техн. наук, Ковалевский Д.Б., студент,
Разорвин Р.В., студент, Ложкин К.Д., студент,
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
г. Пермь, Россия

Показано влияние угла резания на сопротивление грунта при копании экскаватором. Рассмотрен угол резания при копании только поворотом ковша, только поворотом рукояти, а также совмещением поворота ковша и рукояти (стрела экскаватора неподвижна). Указывается, что при копании массива совмещением поворота ковша и рукояти возможно существенное изменение угла резания, что снижает эффективность работы гидравлического экскаватора.

Ключевые слова: гидравлический экскаватор, процесс копания породы, зубья ковша, оптимальный угол резания.

ABOUT CHANGING THE CUTTING ANGLE WHEN DIGGING ROCK WITH A HYDRAULIC BACKHOE

Muravskiy A.K., Kovalevsky D.B., Razorvin R.V., Lozhkin K.D.

The article shows the effect of the cutting angle on the soil resistance when digging with an excavator. The cutting angle is considered when digging only by turning the bucket, only by turning the handle, and also by combining the rotation of the bucket and handle (the excavator boom is stationary). It is indicated that when digging an array by combining the rotation of the bucket and handle, a significant change in the cutting angle is possible, which reduces the efficiency of the hydraulic excavator.

Keywords: hydraulic excavator, the process of digging rock, bucket teeth, cutting angle, cutting force, optimal cutting angle.

Гидравлические экскаваторы с обратной лопатой находят обширное применение в горнодобывающей промышленности, постепенно заменяя канатные механические лопаты [1]. Гидравлический привод звеньев рабочего оборудования экскаватора позволяет создавать на зубьях ковша большие усилия и реализовывать сложную траекторию движения режущей кромки ковша, что делает возможным эффективно разрабатывать широкий спектр грунтов и горных пород с высокой производительностью.

Процесс копания массива гидравлическим экскаватором производится поворотом ковша с зубьями, поворотом рукояти или совмещением поворота ковша с зубьями и рукояти. При этом толщина стружки регулируется путем подъема или опускания стрелы. В процессе копания зубья ковша производят резание породы, далее порода, отделенная от массива, наполняет ковш при его поступательном движении. Процесс взаимодействия зубьев ковша с породой характеризуется углом резания, т.е. углом между передней гранью зуба и поверхностью среза.

Угол резания оказывает существенное влияние на сопротивление грунта резанию [2]. Оптимальный угол резания составляет от 30 до 35° (для прочных пород – до 45° [2]), что определяется из условий обеспечения

наименьшей энергоемкости разрушения грунта, прочности зуба и поддержания заднего угла резания от 5 до 7° [3].

Копание грунта при оптимальном угле резания позволяет повысить эффективность работы экскаватора, в том числе снизить энергопотребление, повысить производительность и надежность, расширить технологические возможности машины. В процессе копания угол резания может принимать оптимальную величину, а также быть больше или меньше оптимального значения. Обеспечение постоянного оптимального угла резания в процессе копания связано с определенными сложностями при функционировании рабочего оборудования гидравлического экскаватора.

Рассмотрим влияние работы оборудования экскаватора при копании на угол резания.

При копании грунта только поворотом ковша (стрела и рукоять неподвижны) угол резания не изменяется и определяется конструкцией ковша с зубьями. Угол резания в этом случае может быть отличным от оптимального значения.

При копании грунта только поворотом рукояти (стрела неподвижна, ковш неподвижен относительно рукояти) угол резания не изменяется и определяется конструкцией ковша, рукояти и положением ковша относительно рукояти. Угол резания при копании грунта только поворотом рукояти равен углу резания при копании поворотом ковша, когда оси вращения рукояти, ковша и режущая кромка ковша располагаются в одной плоскости. Угол резания принимает максимальное значение, если ковш повернут относительно рукояти назад до крайнего положения.

В отдельных случаях расположения ковша относительно рукояти угол резания может быть равным нулю или отрицательным. Тогда задняя грань зуба взаимодействует с поверхностью среза. Возможен случай, когда задняя стенка ковша взаимодействует с породой. При взаимодействии задней грани зуба, задней стенки ковша с поверхностью среза происходит их более интенсивное изнашивание. В этом случае сопротивления грунта резанию и копанию, по-видимому, увеличиваются.

При копании грунта совмещением поворота ковша и рукояти (стрела неподвижна) угол резания может изменяться во времени. Он зависит от конструкции ковша, рукояти, положения ковша относительно рукояти, а также от угловых скоростей движения рукояти относительно стрелы и ковша относительно рукояти.

В процессе одного цикла копания грунта возможны все вышеперечисленные случаи. Например, в начале цикла копания машинист экскаватора производит копание только поворотом ковша, через какое-то время – только поворотом рукояти, а в конце процесса – совмещением поворота ковша и рукояти.

Предварительные результаты исследований показывают, что в процессе копания грунта совмещением поворота ковша и рукояти угол резания способен изменяться на десятки градусов. Такое существенное изме-

нение угла резания должно отрицательно влиять на эффективность процесса копания грунта, поскольку разработка массива может выполняться при угле резания отличном от оптимального значения. Поддержание оптимального угла резания осуществимо путем применения ковша с поворотными зубьями [5] и использования системы цифрового управления приводом [6].

Таким образом, угол резания не изменяется при копании только поворотом ковша, либо только поворотом рукояти, при этом оптимальное значение угла резания может не обеспечиваться. При копании совмещением поворота ковша и рукояти гидравлическим экскаватором с рабочим оборудованием обратная лопата возможно существенное изменение угла резания, что снижает эффективность работы экскаватора.

Список литературы

1. Подэрни Р. Ю. Мировой рынок поставок современного выемочно-погрузочного оборудования для открытых горных работ. Издательство «Горная книга», Горный Информационно-Аналитический Бюллетень, № 2, 2015. С. 148-167.
2. Муравский А.К. О влиянии угла резания на силу резания при копании грунта ковшом экскаватора // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности сборник трудов XXII международной научно-технической конференции. Екатеринбург, 2024. – С. 299-302.
3. Подэрни Р.Ю. Механическое оборудование карьеров: учебник для вузов. – М.: Изд-во МГГУ, 2007. – 680 с.
4. Зеленин А.Н., Баловнев В.И., Керов И.П. Машины для земляных работ. – М.: Машиностроение, 1975. – 424 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.
6. Комиссаров А.П., Лагунова Ю.А., Набиуллин Р.Ш., Лукашук О.А. Цифровизация в горном машиностроении // Горное оборудование и электромеханика – 2020. – № 5 (151). – С. 34-38.

УДК 622.232

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ «ВПУСКА» И «ВЫПУСКА» ЖИДКОСТИ В РАБОЧЕМ ЦИКЛЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРНОГО МЕХАНИЗМА

Кызыров К.Б., проф., **Решетникова О.С.**, и.о. доцента, **Таурбаев А.Е.**, магистрант
Карагандинский технический университет им. А.Сагинова, г. Караганда, Казахстан

Статья посвящена исследованию процессов впуска и выпуска жидкости из камеры рабочего хода гидравлического ударного механизма и определению основных параметров – времени истечения жидкости, изменения давления, вытесняемого объема жидкости в зависимости от положения поршня-бойка ударного механизма.

Ключевые слова: гидравлический ударный механизм, истечение жидкости, впуск и выпуск жидкости.

STUDY OF THE PROCESSES OF «INPUT» AND «OUTPUT» OF FLUID IN OPERATING CYCLE OF HYDRAULIC IMPACT MECHANISM

Kyzyrov K.B., Reshetnikova O.S., Taurbaev A.E.

The article is devoted to the study of the processes of fluid input and outlet from the working stroke chamber of a hydraulic impact mechanism and the determination of the main parameters - fluid outflow time, pressure change, displaced volume of fluid depending on the position of the piston-striker of the impact mechanism.

Keywords: hydraulic impact mechanism, fluid outflow, fluid inlet and outlet.

Конструктивная схема гидравлического ударного механизма (ГУМ), представленная на рисунке 1, отличается следующими особенностями рабочего цикла, определяемыми его структурой. Поршень-боек (ПБ) выполняет основную функцию ударной массы и периодически совершает удары по инструменту И. Передняя неуправляемая камера холостого хода (КХХ) постоянно соединена с напорной линией через стабилизатор высокого давления (СВД), имеющим конструктивный объем $W_{\text{СВД}}$. Задняя управляемая камера рабочего хода (КРХ) представлена в виде объема жидкости $W_{\text{КРХ}}$, и периодически соединяется со сливной линией через стабилизатор низкого давления СНД [1].

На рисунке 2 для описания рабочего цикла эталонной модели ГУМ приведены индикаторная диаграмма изменения давления в КРХ (а) и фазовое управление рабочим циклом (б).

В конце фазы холостого хода передняя управляющая кромка ПБ соединяет СВД с КРХ, происходит фаза «впуска» - давление в КРХ повышается с P_2 до P_3 , а управляющее усилие с R_2 до R_3 . В результате ГУМ автоматически переключается на фазу рабочего хода, завершающуюся ударом ПБ по инструменту со скоростью v_y и реализует необходимую энергию удара A_y . В момент удара задняя управляющая кромка ПБ соединяет КРХ с СНД, происходит фаза «выпуска». Давление в КРХ понижается с P_4 до P_1 , а управляющее усилие с R_4 до R_1 . Начинается новый цикл.

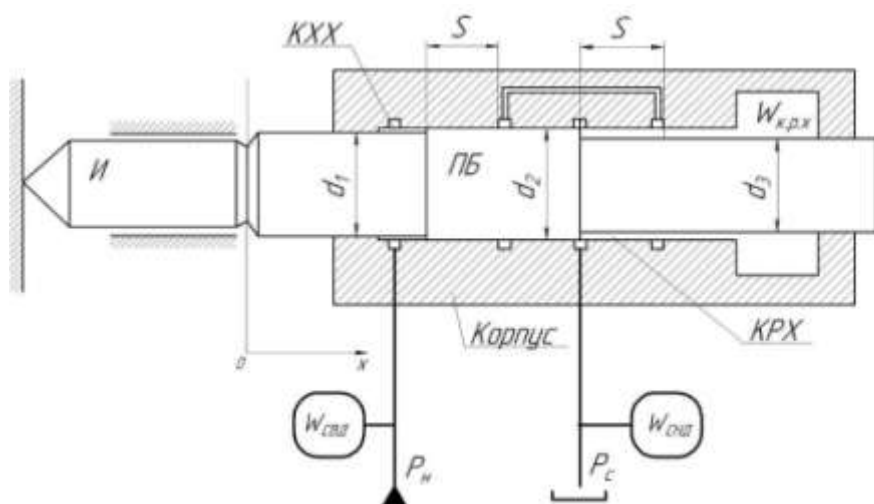


Рисунок 1. Конструктивная схема гидроперфоратора с совмещенным органом управления

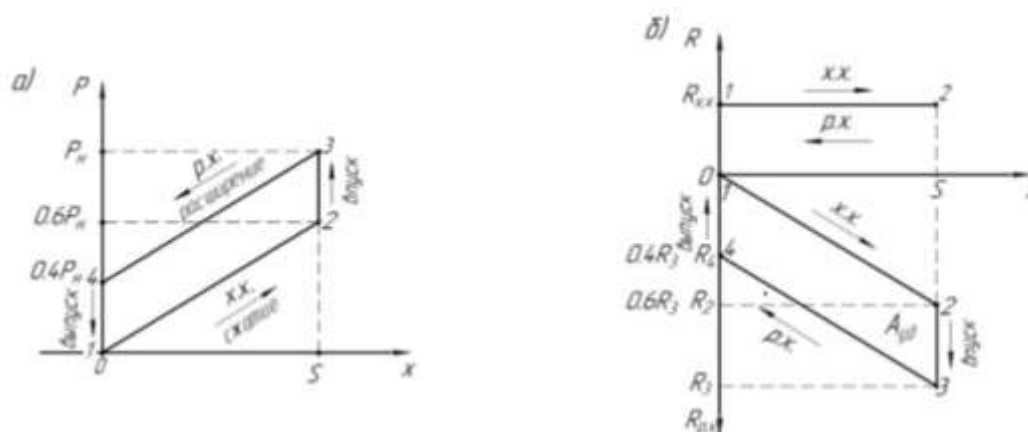


Рис. 2. Индикаторная диаграмма изменения давления в КРХ (а) и фазовое управление рабочим циклом ГУМ (б); р.х. – рабочий ход; х.х. – холостой ход

Все фазы рабочего цикла ГУМ за исключением фаз «впуска» и «выпуска» исследованы и оптимизированы с позиции эффективности энергопреобразования и представлены в виде параметров эталонной модели ГУМ [2]. Для реализации полученной эталонной модели в реальном механизме необходимо дополнительно исследовать сложные динамические процессы в фазах «впуска» и «выпуска» рабочей жидкости, а также вопросы эффективной стабилизации потоков в напорной и сливной гидролиниях ГУМ. Процессы «впуска» и «выпуска» рабочей жидкости из КРХ идентичны, происходят при одинаковых перепадах давления $\Delta P = 0.4P_3$.

«Выпуск» и «впуск» представляет собой истечение жидкости через кольцевое сечение при переменном напоре [3]. Этот сложный динамический процесс описывается системой из двух уравнений:

$$\left\{ \begin{aligned} \int_0^t Q dt &= \mu \cdot \omega_z \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \int_0^t \sqrt{\Delta P(t)} dt \\ \Delta P(t) &= 0.4 P_3 - \frac{E_{\text{жс}}}{W_{\text{КРХ}}} \int_0^t Q dt \end{aligned} \right. ,$$

где Q – расход жидкости, $\text{м}^3/\text{с}$; μ – коэффициент расхода ($\mu = 0,62$); ρ – плотность жидкости ($\rho = 900 \text{ кг/м}^3$); ΔP – перепад давления щели, Па; $E_{жс}$ – модуль упругости жидкости, Па; t – время истечения, с; $W_{КРХ}$ – объем рабочей камеры, $W_{КРХ} = 4.16 \frac{A_y \cdot E_{жс}}{P_3^2}$, м^3 ; A_y – энергия удара, Дж; ω_z – площадь сечения щели, $\omega_z = \pi \cdot h^2$, м^2 ; h – ширина кольцевой щели, м.

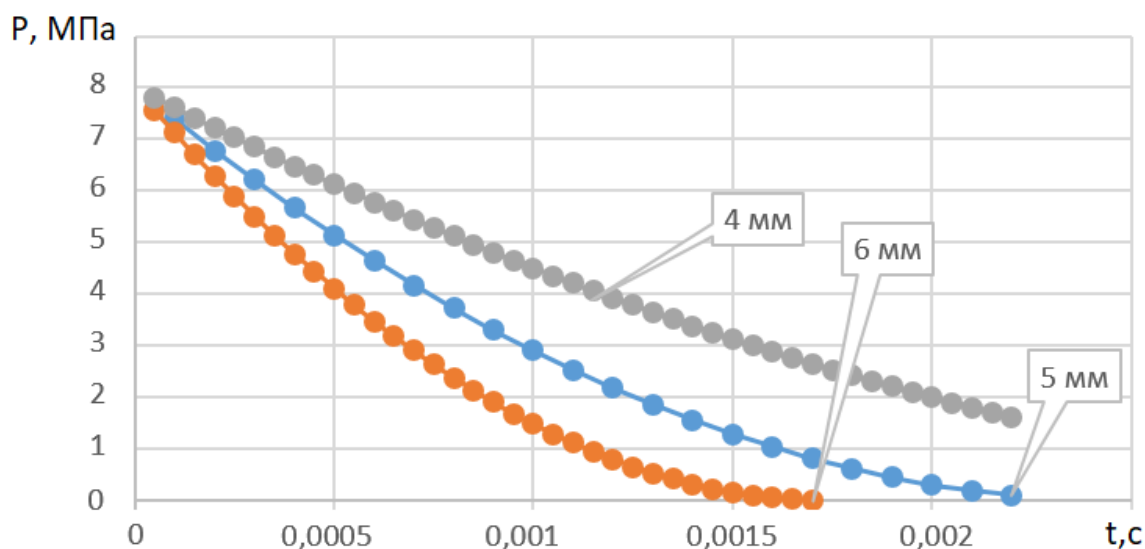


Рис. 3 – Изменение давления жидкости в фазе «выпуска» для различных значений ширины кольцевой щели h

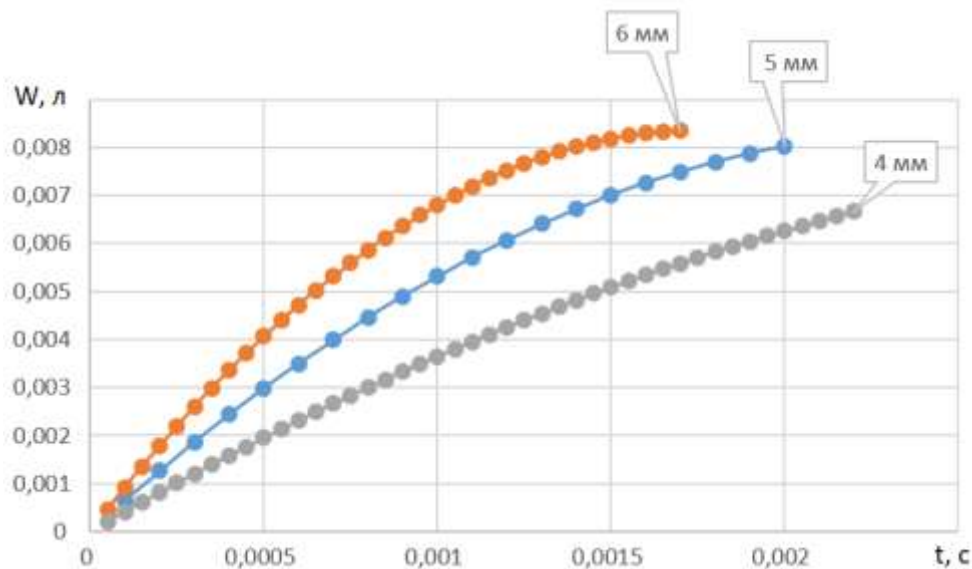


Рис. 4 – Изменение вытесняемого объема жидкости в фазе «выпуска» для различных значений ширины кольцевой щели h

Решение системы уравнений позволяет получить данные о том, как изменяются расход и давление в моменты «впуска» и «выпуска» в зависимости от положения поршня-бойка ПБ, характеризующееся в этом случае величиной ширины кольцевой щели h . В качестве примера на рисунках 3 и 4 представлены графические зависимости изменения давления и объема

вытесняемой жидкости в зависимости от времени при значениях h 4 мм; 5 мм; 6 мм.

Как видно из графиков, процесс «выпуска» происходит практически мгновенно и составляет 0,0017 – 0,0025 с для ширины кольцевой щели от 4 до 6 мм соответственно. При меньшей ширине кольцевой щели падение давления с 8 МПа до нуля и вытеснение жидкости из КРХ происходит медленнее. Величина вытесняемого объема составила 0,006 – 0,008 л.

Таким образом, решение системы уравнений позволяет определить основные параметры потока жидкости при «впуске» и «выпуске», а также время, затрачиваемое на эти процессы.

Список литературы

1. Reshetnikova O.S., Kyzzyrov K.B., Yurchenko V.V. Structural synthesis of hydraulic impact mechanisms with a combined control body // NEWS of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. – 2024. - №1. – P. 201-217.
2. Решетникова О.С., Кызыров К.Б., Жетесова Г.С., Жаркевич О.М., Ашимбаев Д.А. Оптимизация рабочего цикла гидравлического ударного механизма с совмещенным органом управления. Уголь, 2025. - №2. – С. 93-99.
3. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: Учебник для машиностроительных вузов / Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. и др. - 4-е изд., стереотип., перепечатка со 2-го изд. 1982 г. - М: «Издательский дом Альянс», 2010. - 423 с.

УДК 622.232

ВЛИЯНИЕ БУКСОВАНИЯ ДВИЖИТЕЛЯ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ МОБИЛЬНЫХ ГОРНЫХ МАШИН

Басалай Г.А., Казаченко Г.В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Анализируется влияние буксования движителей мобильных технологических машин на их производительность, которая рассматривается как производственная функция машины, зависящая от совокупности внутренних и внешних факторов. Предварительный анализ этих факторов позволил свести их число до двух, вычленив удельную производительность машины.

Ключевые слова: Горные проходческие машины, буксование движителя, удельная производительность по ходу машины

SLIPPING AND PRODUCTIVITY OF MOBILE MINING MACHINE

Basalai R.A., Kazachenko G.V.

The influence of slipping of the propulsors of mobile technological machines on their productivity is analyzed, which is considered as a production function of the machine, depending on a combination of internal and external factors. A preliminary analysis of these factors made it possible to reduce their number to two, isolating the specific productivity of the machine.

Keywords: mining tunneling machines, propulsion slippage, specific productivity along the machine.

Введение. Для технологических мобильных машин, выполняющих механические операции различают объемную и массовую производительности. Перемещение подобных машин осуществляется транспортным модулем и сопровождается его буксованием, которое зависит от характеристик этого модуля, конструктивных параметров машины, свойств несущего основания и сопротивления перемещению технологического модуля. Величину буксования определим с помощью коэффициента буксования ε , согласно [1]

$$\varepsilon = (v_T - v_c) / v_T, \quad (1)$$

где v_T – теоретическая скорость движения машины, т.е. скорость при отсутствии буксования механизма перемещения; v_c – скорость скольжения опорных элементов транспортного механизма по несущей поверхности.

Коэффициент буксования можно определить несколькими способами. В этой работе используется формула [2]

$$\varepsilon = \frac{K_v \cdot \varphi_c}{K_v \cdot \varphi_c + \sqrt{1 - \varphi_c^2}}, \quad (2)$$

где K_v – коэффициент пропорциональности между боковой (поперечной к продольной оси машины скоростями) скоростью опорного элемента движителя и действительной скоростью v .

Коэффициент φ_c определяется известным соотношением [2]

$$\varphi_c = T_y / (f \cdot P_z), \quad (3)$$

где T_y – продольная составляющая силы трения между опорными элементами транспортного модуля и несущим основанием; f – коэффициент тре-

ния между вышеуказанными взаимодействующими системами; P_z – нормальная к несущему основанию нагрузка, передаваемая двигателем.

Поскольку при прямолинейном движении с постоянной скоростью $T_y = P_c$, где P_c – продольная составляющая равнодействующей сил сопротивления движению, то

$$\varphi_c = P_c / (f \cdot P_z) . \quad (4)$$

Производительность технологических машин зависит от большого числа факторов, включающих как технические параметры, так и физические свойства обрабатываемых материалов. Среди этих факторов одним из важнейших является скорость движения машины при выполнении технологической операции. Для целого ряда машин эта зависимость является линейной. Скорость движения таких машин при выполнении рабочих операций снижается из-за буксования двигателей относительно несущих оснований. Буксование двигателей, является функцией двух безразмерных параметров, которые зависят от технических характеристик машины и свойств горных пород, а также технологических характеристик рабочего процесса. Наиболее характерно сказанное проявляется при выемке полезных ископаемых и проходке горных выработок проходческими и очистными комбайнами, для которых объемная производительность

$$Q = S \cdot v , \quad (5)$$

где S – площадь поперечного сечения проходческой или очистной выработки; v – скорость движения комбайна.

Выразив v через v_t и подставив в (5) имеем

$$Q = S \cdot v_t (1 - \varepsilon) = S \cdot v_t \left(1 - \frac{K_v \cdot \varphi_c}{K_v \cdot \varphi_c + \sqrt{1 - \varphi_c^2}} \right) , \quad (6)$$

Эта формула может быть использована для определения производительности машин, выполняющих некоторые операции передвигаясь со скоростью v вместе с технологическими модулями и может быть представлена в виде

$$Q = Q_t (1 - \varepsilon) , \quad (7)$$

где Q_t – теоретическая производительность.

Учитывая это, а также формулы (6), (4), (3) и введенные определения убеждаемся, что производительность мобильных технологических машин зависит от большого числа параметров, характеризующих конструкцию машины и ее взаимодействие с внешней средой. В практических приложениях функции Q и G можно считать производственными функциями и с их помощью находить условия, доставляющие этим функциям экстремальные значения. Для этого решают систему уравнений

$$\frac{\partial Q}{\partial \dot{q}_k} = 0 , \quad \text{или систему} \quad \frac{\partial G}{\partial \dot{q}_k} = 0 , \quad (8)$$

где $\dot{q}_k$ – параметры, от которых зависят Q и G ; $k = 1 \dots m$ – номер параметра.

Среди этих параметров выбираются чаще всего те, которыми можно управлять. Эти параметры выбираются при анализе процессов мобильных технологических машин из числа их обобщенных координат. Поскольку мобильные технологические машины представляют собой большие и сложные технологические системы, то число обобщенных координат велико и порядок системы тоже. К системе уравнений в инженерных исследованиях необходимо прибавлять ограничения, накладываемые на обобщенные координаты и скорости реальным условиям работы таких систем, что еще больше затрудняет их исследование. Поэтому на практике используют частные варианты систем, позволяющие изучить те параметры, которые представляют непосредственный производственный интерес.

Содержание исследований и некоторые результаты. Рассмотрим подобную задачу для тоннелепроходческой машины (проходческого комбайна) на гусеничном ходу с исполнительным органом в виде ротора радиусом R_p , обеспечивающего необходимое сечение по площади выработки.

Производительность машины на прямолинейной проходке

$$Q = \pi \cdot R^2 \cdot v_t (1 - \varepsilon), \quad (9)$$

где $R_p = \sqrt{S / \pi}$ – радиус ротора, иначе круглого сечения выработки.

Для вычисления коэффициента буксования используется широкий ряд зависимостей [3 – 5]. В настоящей работе для вычисления коэффициента ε применяется формула (2), а коэффициента φ_c – формула (6).

Общая сила сопротивления движению вычисляется из выражения

$$P_c = f_r \cdot P_z + P_n, \quad (10)$$

где f_r – коэффициент сопротивления движению гусеницы по несущему основанию; P_n – сила сопротивления подаче рабочего органа на забой.

Силу P_n найдем используя распространенную формулу

$$P_n = K_n \cdot P_p, \quad (11)$$

где P_p – общая сила сопротивления резанию; K_n – коэффициент пропорциональности.

Общую силу сопротивления резанию найдем используя зависимость

$$P_p = N_p / v_p, \quad (12)$$

где N_p – суммарная мощность на резание породы резцами исполнительного органа; v_p – средняя по производительности приведенная скорость резания.

Мощность на резание можно определить формулой [1, 3]

$$N_p = e_p \cdot Q, \quad (13)$$

где e_p – удельные затраты мощности на резание.

Удельные затраты мощности на резание можно найти по формуле [6]

$$e_p = C_1 \cdot h^{C_2}, \quad (14)$$

где C_1 – коэффициент, зависящий от физических свойств срезаемой породы; C_2 – показатель степени, отражающий влияние толщины стружки на сопротивление резанию; h – толщина стружки.

Для рассматриваемой машины $h = \frac{v \cdot 2\pi}{\omega \cdot z}$, где ω – угловая скорость вращения ротора; z – среднее число резцов в линиях резания.

Усредненная по производительности скорость резания

$$v_p = \omega \cdot R_p / \sqrt{2}. \quad (15)$$

Тогда усилие подачи исполнительного органа на забой

$$P_n = K_n \frac{\sqrt{2} N_p}{\omega \cdot R}. \quad (16)$$

Удельные затраты мощности могут быть определены на основании сопротивляемости A резанию горных пород, определенной по опытным данным, полученным на установках типа ДКС [7] с использованием эталонных резцов, из соотношения $e = A/b$, где b – ширина резца.

Это следует из того, что при испытаниях на установке ДКС регистрируется сила сопротивления резанию и толщина снимаемой резцом стружки. Это позволяет определить площадь сечения снимаемого слоя породы и воспользоваться приведенной формулой $e = A/b$ для определения удельных затрат мощности e .

Таким образом, определены все величины, необходимые для вычисления объемной производительности проходческой машины с роторным рабочим органом на гусеничном движителе. Подставив их в (9) получаем формулу (6). Поскольку $\varphi_c = \frac{P_n + P_r}{f \cdot P_z}$, то формула (16) учитывает силовые и кинематические параметры процесса стружкообразования, а также ряд характеристик машины и несущего основания.

В окончательном виде выражение принимает следующую форму

$$Q = \pi \cdot R^2 \cdot v_r \sqrt{1 - \left(\frac{P_c}{f \cdot P_z} \right)^2} / \left(K \frac{P_c}{P_z} + \sqrt{1 - \left(\frac{P_c}{f \cdot P_z} \right)^2} \right). \quad (17)$$

Заключение. Полученное в результате анализа выражение (17), отображающее влияние различных факторов на производительность тоннелепроходческой машины позволяет выбирать ряд параметров машины на основании теоретической скорости движения и буксования движителя. Более рациональный способ выбора управления проходческой машиной заключается в решении системы (8), который позволяет выбрать более широкий ряд параметров, соответствующих большему числу критериев оптимизации. В этом случае необходимо строить математическую модель рабочего

процесса с учетом большего числа управляемых и конструктивных параметров технологического модуля машины и ее движителя.

Список литературы

1. Горные машины: учебное пособие: в 2 ч.; – Ч. 1. Основы теории / Г. В. Казаченко [и др.] ; под общ. ред. В.Я. Прушака. – Мн. : Выш. школа, 2018. – 183 с.
2. Казаченко, Г. В. Взаимодействие опорных площадок ходовых устройств мобильных машин с несущим основанием / Г. В. Казаченко // Горная механика и машиностроение. – 2019. – № 3. – С. 50–55.
3. Кислов, Н. В. Основы расчета затрат мощности и производительности очистных и проходческих комбайнов / Н. В. Кислов, Г. В. Казаченко, Г. А. Басалай. – Мн. : БНТУ, 2015. – 75 с.
4. Опейко, Ф. А. Торфяные машины / Ф. А. Опейко. – Мн. : Выш. школа, 1968. – 408 с.
5. Казаченко, Г. В. Опорно-ходовые устройства горных машин / Г.В. Казаченко [и др.]. – Мн. : «Энергопринт», 2016. – 206 с.
6. Казаченко, Г. В. Горные машины. Практикум: учебное пособие / Г. В. Казаченко, Г. А. Басалай, Г. И. Лютко. – Минск: Вышэйшая школа, 2020. – 200 с.
7. Солод, В. И. Горные машины и автоматизированные комплексы / В. И. Солод, В. И. Зайков, К. М. Первов. – М.: Недра, 1981. – 503 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!
Чтоб российский обыватель, –
А не западный делец, –
Был у нас изобретатель
И единственный творец.***

Доц. Павел Жиганов

УДК 621.9.01

ДИНАМИЧЕСКАЯ КОРРЕКЦИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ В СТАНКАХ С ЧПУ НА ОСНОВЕ ОПТОВОЛОКОННЫХ ДАТЧИКОВ И АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Злотников Е.Г., канд. техн. наук, Андрейчук Н.А., студент
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II»

Предложен метод контроля тепловых погрешностей станков с ЧПУ с использованием оптоволоконных датчиков на основе Брэгговских решеток, рассмотрено использование нейросетей для обработки данных и выявлены способы реализации системы компенсации погрешностей. Целью исследования является разработка автоматической системы компенсации тепловых погрешностей в реальном времени. Актуальность работы обусловлена высокой долей тепловых погрешностей при обработке, а также необходимостью повышения точности и автоматизации машиностроительных производств при изготовлении прецизионных деталей.

Ключевые слова: станки с числовым программным управлением, волоконно-оптические датчики на Брэгговских решётках, температурные погрешности станков, автоматизация технологических процессов, математические модели прогнозирования.

DYNAMIC CORRECTION OF THERMAL ERRORS IN CNC MACHINES BASED ON FIBER-OPTIC SENSORS AND AUTOMATIC SYSTEMS

Zlotnikov E.G., Andreichuk N. A.

Presents a method for controlling thermal errors in CNC machines using fiber-optic sensors based on Bragg gratings, explores the application of neural networks for data processing, and identifies approaches to implementing an error compensation system. The research aims to develop an automatic real-time thermal error compensation system. The relevance of the study stems from the significant contribution of thermal errors to overall machining inaccuracies, as well as the need to enhance precision and automation in machine-building industries for the production of high-precision components.

Keywords: computer numerical control machines, fiber-optic sensors on Bragg gratings, temperature errors of machines, process automation system, mathematical forecasting models.

Точность обработки на станках с ЧПУ остаётся важной научно-практической задачей. При проектировании металлообрабатывающего оборудования широко применяются системы обратной связи, различные датчики и алгоритмы обработки данных. Современные достижения в сфере информационных технологий способствуют разработке автоматических систем, обеспечивающих непрерывный мониторинг параметров станка и оперативную коррекцию его работы. Актуальной проблемой, решаемой с помощью таких систем, является температурная деформация элементов станков с ЧПУ. В процессе эксплуатации происходит нагрев компонентов оборудования, вызывающий тепловое расширение, приводящее к отклонениям в размерах деталей. При этом величина погрешности носит динамический характер, изменяясь в реальном времени под влиянием множества взаимосвязанных факторов, что существенно осложняет её компенсацию. Согласно исследованиям [1], 40–70 % технологических неточностей обусловлены термическими деформациями. Эта проблема особенно актуальна для тяжёлых фрезерных станков, характеризующихся наличием массивных конструктивных элементов, подверженных нагреву во время работы. Ми-

нимизация температурных погрешностей требует интеграции высокоточных датчиков температуры и вычислительных систем, способных оперативно обрабатывать информацию и корректировать траекторию инструмента.

Измерение температуры элементов станка может осуществляться контактными и бесконтактными методами. К последним относится применение тепловизионных камер, обеспечивающих визуализацию распределения температуры на поверхностях металлообрабатывающего оборудования. Однако данная технология имеет ряд ограничений: недостаточная адаптивность для автоматизированного анализа, высокая стоимость измерительного оборудования, сложность интеграции в существующие станки в качестве модернизации, а также риск погрешностей при использовании смазочно-охлаждающих жидкостей. Примером контактного метода, является использование термопар, однако такие датчики также обладают недостатками. Их применение сопряжено с искажениями результатов измерений при эксплуатации в электромагнитных полях, а длительное воздействие масляного тумана снижает надёжность и долговечность. Перспективной альтернативой выступают датчики на основе оптоволоконных Брэгговских решёток (ВБР). Эти датчики отличаются устойчивостью к коррозии и к электромагнитным помехам, благодаря физическим принципам их работы, а также компактностью за счёт возможности нанесения нескольких решёток на одно волокно. В качестве примера использования оптоволоконных датчиков можно привести работу П. Бозетти 2012 года, где для отслеживания деформаций тяжелого станка была внедрена система мониторинга смещения с использованием ВБР-датчиков [2]. В контексте температурного мониторинга оборудования значимое исследование провела группа Хуанга, разработавшая методику анализа температурного поля на поверхностях тяжелых станков посредством ВБР [3]. Отдельного внимания заслуживает эксперимент Донга и его коллег, в котором была создана компактная система волоконно-оптических ВБР-датчиков для внутреннего мониторинга ЧПУ-станков [4].

Анализ систем обработки сигналов от температурных датчиков сопряжён с рядом методологических сложностей, обусловленных неявным характером и динамической изменчивостью зависимостей между температурой конструктивных компонентов и смещением режущего инструмента. Это предъявляет требования к алгоритмам обработки данных, которые должны обеспечивать восстановление неявных взаимосвязей с высокой точностью и скоростью. Оптимальным решением представляется применение методов машинного обучения, в частности, нейросетевых моделей, способных аппроксимировать нелинейные зависимости на основе экспериментальных данных с последующим прогнозированием смещений инструмента в режиме реального времени. Критическим ограничением нейросетевого подхода, однако, остаётся необходимость формирования значи-

тельного объёма данных для обучения моделей, что требует трудоёмких экспериментальных исследований.

Если рассматривать способы внедрения такой системы, то первостепенной является задача по поиску наиболее дешевого и быстрого способа по установке как измерительных датчиков, так и самой системы в современные станки с ЧПУ без кардинального изменения исходного оборудования. В качестве примера рассматриваются станки со стойкой Fanuc. Для реализации системы автоматической коррекции инструмента возможны два подхода. Первый – с помощью дополнительной функции Fanuc Focas, которая позволяет подключать станок и датчики к ПК и проводить коррекцию через макросы, включенные в управляющую программу. Такой метод идеально подходит для проведения НИР из-за его гибкости, но будет затруднен для внедрения на производство из-за использования дополнительного персонального компьютера. Вторым подходом является работа с программируемым логическим контроллером (ПЛК) станка. В данном случае можно использовать стандартные функции ЧПУ, такие как G41/G42 (коррекция радиуса инструмента) и G43 (компенсация длины), которые позволяют автоматически корректировать траекторию без изменения исходного G-кода. Значения радиуса и длины инструмента хранятся в памяти станка, и система коррекции может динамически обновлять эти параметры, что автоматически сместит траекторию. Также через ПЛК к станку можно подключить дополнительные датчики и задать необходимые параметры для системы.

Таким образом, разработка автоматизированной системы компенсации тепловых погрешностей в станках с ЧПУ открывает перспективное направление для междисциплинарных исследований, охватывающих как методы мониторинга температурных деформаций, так и алгоритмы обработки данных.

Список литературы

1. Bryan J. International status of thermal error research // CIRP Annals–Manufacturing Technology. — 1990. — Vol. 39, No. 2. — P. 645–656.
2. Bosetti P., Bruschi S. Enhancing positioning accuracy of CNC machine tools by means of direct measurement of deformation // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. — 2012. — Vol. 58, No. 5-8. — P. 651–662.
3. Huang J., Zhou Z. D., Liu M. Y., et al. Real-time measurement of temperature field in heavy-duty machine tools using fiber Bragg grating sensors and analysis of thermal shift errors // Mechatronics. — 2015. — Vol. 31. — P. 16–21.
4. Dong Y. F., Zhou Z. D., Liu Z. C., et al. Temperature field measurement of spindle ball bearing under radial force based on fiber Bragg grating sensors // Advances in Mechanical Engineering. — 2015. — Vol. 7, No. 12. — P. 1–6.

УДК 621.91

РОЛЬ МАТЕРИАЛА СМЕННЫХ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН В ФОРМИРОВАНИИ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТАЛИ ГАДФИЛЬДА ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ

Захарова В.П., канд. техн. наук, Злотников Е.Г., канд. техн. наук,
Гильвитинов М.О., студент, Дзюба А.А., студент
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург

*Исследуется влияние материала режущего инструмента на формирование параметров шероховатости поверхности изделий из высокомарганцовистой стали 110Г13Л (сталь Гадфильда) при токарной обработке. Анализируются особенности обработки стали Гадфильда, отличающейся склонностью к наклепу, деформационным упрочнениям, низкой теплопроводностью и сложностями в формировании стружки. В ходе исследования была произведена полустационарная обработка образца заданных размеров, предварительно прошедшего черновую обработку. **Ключевые слова:** токарная обработка, сталь 110Г13Л, шероховатость поверхности, высокомарганцовистые стали, твердые сплавы, кубический нитрид бора (CBN).*

THE ROLE OF THE MATERIAL OF REPLACEABLE CUTTING PLATES IN SHAPING THE SURFACE QUALITY PARAMETERS OF GADFIELD STEEL PRODUCTS DURING TURNING

Zakharova V.P., Zlotnikov E.G., Gilvitinov M.O., Dzyuba A.A.

In this article, the influence of the cutting tool material on the formation of surface roughness parameters of products made of high-manganese steel 110G13L (Gadfield steel) during turning is investigated. The features of Gadfield steel processing, characterized by a tendency to riveting, deformation hardening, low thermal conductivity and difficulties in chip formation, are analyzed. In the course of the study, a semi-frantic processing of a sample of specified sizes was performed, which had previously undergone roughing.

Keywords: turning, 110G13L steel, surface roughness, high-manganese steels, hard alloys, cubic boron nitride (CBN).

Высокомарганцовистая сталь 110Г13Л, также известная как сталь Гадфильда, представляет собой высоколегированную сталь аустенитного класса, которая сочетает ценные потребительские качества [1].

Главной особенностью стали 110Г13Л является ее склонность к наклепу – увеличению твердости поверхностного слоя в результате пластических деформаций. Так, например, в работе [2] определено, что после черновой токарной обработки осесимметричного изделия из стали Гадфильда среднее значение твердости поверхности достигает 557 HV.

С одной стороны, подобное свойство стали 110Г13Л является ее преимуществом, поскольку обеспечивает повышенный срок службы изделий, работающих в условиях больших ударных нагрузок (ковши экскаваторов, зубья для дробилок, конвейерные ленты, бронеплиты и т.д.).

С другой стороны, рассматриваемый материал относится к классу труднообрабатываемых сталей. Низкая обрабатываемость резанием высокомарганцовистой стали обусловлена следующим [3]: большое деформационное упрочнение слоев металла, находящихся в контакте с рабочими поверхностями инструмента; низкая теплопроводность; структурные пре-

образования в стали в процессе пластической деформации, определяющие высокую истирающую способность; высокий коэффициент линейного расширения; проблематичное формирование и дробление стружки.

В современном машиностроении обеспечение высокой точности и качества поверхности изделий становится залогом повышения их эксплуатационных характеристик. Уменьшение шероховатости способствует снижению трения между контактирующими поверхностями, что увеличивает долговечность изделий, таких как валы, где высокие требования к точности обработки напрямую влияют на надежность.

Необходимо исследование влияния материала сменной пластины токарного резца на шероховатость поверхности при получистовой токарной обработке изделий из стали Гадфильда (110Г13Л).

Для работы выбран образец диаметром 90 мм и длиной 210 мм из литой высокомарганцовистой стали 110Г13Л (см. рис. 1). Химический состав стали соответствует требованиям ГОСТ 977-88.

В соответствии с рекомендациями, представленными в работе [2], были назначены режимы резания для получистовой токарной обработки, которые являлись одинаковыми для всех материалов режущих пластин (см. табл. 1)

Таблица 1 – Режимы резания [Составлено авторами]

Вид обработки	Параметр	Значение
Черновая	Скорость резания V , м/мин	27
	Подача S , мм/об	0,25
	Глубина резания t , мм	2
Получистовая	Скорость резания V , м/мин	50
	Подача S , мм/об	0,1
	Глубина резания t , мм	0,5

Для постановки эксперимента были использованы токарные пластины WNUM080408 из твердого сплава титановольфрамовой группы Т30К4 и Т15К6, токарная пластина из WNUM080408 кубического нитрида бора (CBN); резец для наружного точения (державка) DWLNR1616H08. Выбор материала и геометрии режущего инструмента основан на рекомендациях представленных в работе [4]. Для оценки качества поверхности образца после получистового точения использовался профилометр Mitutoyo SJ-210.

В ходе эксперимента получены следующие данные: при обработке токарной пластинкой из твердого сплава Т30К4 получена шероховатость $R_a = 1,9$ мкм, при обработке пластинкой из твердого сплава Т15К6 получена шероховатость $R_a = 1,06$ мкм, при обработке пластинкой из кубического нитрида бора (CBN) получена шероховатость $R_a = 3,65$ мкм.

Подводя итог, отметим, что экспериментально подтверждена зависимость шероховатости поверхности осесимметричных изделий из стали 110Г13Л при их получистовой обработке от материала сменной токарной пластины. Наилучший результат по параметру R_a показала пластина из твердого сплава Т15К6, что делает ее наиболее предпочтительной для применения.



Рисунок 1 – Зоны получистовой обработки [Составлено авторами]

Подводя итог, отметим, что экспериментально подтверждена зависимость шероховатости поверхности осесимметричных изделий из стали 110Г13Л при их получистовой обработке от материала сменной токарной пластины. Наилучший результат по параметру Ra показала пластина из твердого сплава Т15К6, что делает ее наиболее предпочтительной для применения.

Полученные данные могут быть использованы для оптимизации технологических процессов обработки деталей из стали Гадфильда с целью повышения качества поверхностного слоя и эксплуатационных характеристик продукции.

Список литературы

1. Эгамбердиев И. П., Шарафутдинов У. З., Улугов Г. Д. Исследование влияния состава и структуры на стали 110Г13Л // Journal of Advances in Engineering Technology. 2021. №2. DOI: 10.24412/2181-1431-2021-2-57-64
2. Захарова В. П., Злотников Е. Г., Адмакин М. А., Гильвитинов М. О. Оценка глубины и степени наклепа при черновой токарной обработке высокомарганцовистой стали Черные металлы. 2024. №9. С. 72-76.
3. Ходжибергенов Д. Т., Шеров К. Т., Касенов А. Ж., Хожибергенова У. Д. Проблемы выбора технологии обработки нововнедренных материалов в производство // Наука и техника Казахстана. 2018. №2. С. 111-117.
4. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2 /Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Сулова, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – 5-е изд., исправл. – М.: Машиностроение-1, 2002 г. 944 с.

УДК 65.07

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ СТАЛИ 30ХГСА

Глинникова Т.П., канд. техн. наук, **Медя А.В.**, магистрант
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург

Повышение эффективности механической обработки. Использование рациональных режимов резания. Разработка рекомендаций для рациональной обработки. Влияние режимов резания на качество поверхности. Определение возможности управления процессом механической обработки. Экспериментальные исследования.

Ключевые слова: шероховатость поверхности, геометрия инструмента, режимы обработки.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF PROCESSING MODES ON THE SURFACE ROUGHNESS OF PARTS MADE OF 30KHGSA STEEL

Glinnikova T.P., Medya A.V.

Improving the efficiency of machining. Using rational cutting modes. Developing recommendations for rational processing. The impact of cutting modes on surface quality. Determination of the possibility of controlling the machining process. Experimental studies.

Keywords: Surface roughness, tool geometry, processing modes

Повышение эффективности механической обработки является важнейшей задачей современного машиностроения, включающей в себя достижение наиболее высокой производительности обработки с обеспечением заданного уровня качества поверхностного слоя деталей. Решение этой задачи может быть достигнуто за счет выбора наиболее рациональных методов обработки деталей, а также за счет обоснования оптимального уровня параметров обработки, обеспечивающих максимальную производительность и минимальную себестоимость. Одним из перспективнейших путей решения этой задачи является использование рациональных режимов резания, обеспечивающих качественную обработку поверхности, определяющую эксплуатационные свойства изделий в целом. В связи с этим для решения ряда задач возникает необходимость в анализе теоретических закономерностей формирования поверхностного слоя деталей и разработки на этой основе рекомендаций для применения в практической деятельности рациональной обработки с обеспечением требуемого уровня качества поверхностей.

Здесь приведена попытка доказать, что использование оптимальных режимов обработки является одним из наиболее перспективных путей повышения качества и эффективности современного машиностроительного производства.

Представлены результаты исследований влияния подачи, скорости резания и других параметров технологического процесса на величину параметров шероховатости поверхности при точении. Сравнительный анализ показателей подтверждает, что выбор режимов резания оказывает существенное влияние на качество обработанной поверхности. Результаты испытаний дают основание использовать полученную зависимость для практи-

ческого применения степенной зависимости параметра шероховатости R_a и R_z при токарной обработке от режимов резания [1].

Были проведены исследования по определению изменения параметров шероховатости поверхности детали диаметром $\varnothing 48,3$ мм из стали 30ХГСА после обработки на станке БД16 проходным резцом Т15К6. Геометрия инструмента: $\varphi = 45^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\alpha = 8^\circ$, $r = 0,3$ мм при подаче $S = 0,05; 0,1; 0,2$ мм/об, глубине резания $t = 0,2, 0,5, 1,0$ мм, при скорости резания $V = 50; 100; 150$ м/мин. Исследования проводились с измерением параметров шероховатости. Параметр шероховатости R_a измерялся с помощью профилометра-профилографа TR-200. При относительно постоянной глубине резания ($t = 0,5 \dots 0,8$ мм) и подаче ($S = 0,08$ и $S = 0,2$ мм/об) произвели обточку 3 отдельных участков валика с различными скоростями резания. Обработка производилась с применением СОЖ. Значения фактически обеспечиваемых на станке режимов резания занесены в таблицу.

Таблица. Результаты исследования

V_c , м/мин	50	50	50	100	100	100	150	150	150
S , мм/об	0,05	0,1	0,2	0,05	0,1	0,2	0,05	0,1	0,2
t , мм	0,2	0,5	1,0	0,2	0,5	1,0	0,2	0,5	1,0
R_a , мкм	0,8	1,5	3,2	0,6	1,2	2,8	0,5	1,0	2,5

Результаты испытаний показывают, что с увеличением подачи шероховатость резко возрастает. Например, при $V=100$ м/мин при $t=0,5$ мм. Шероховатость по параметру R_a увеличивается с 0,6 мкм до 2,8 мкм. Увеличение скорости с 50 м/мин до 150 м/мин уменьшает шероховатость на 20-30 %.

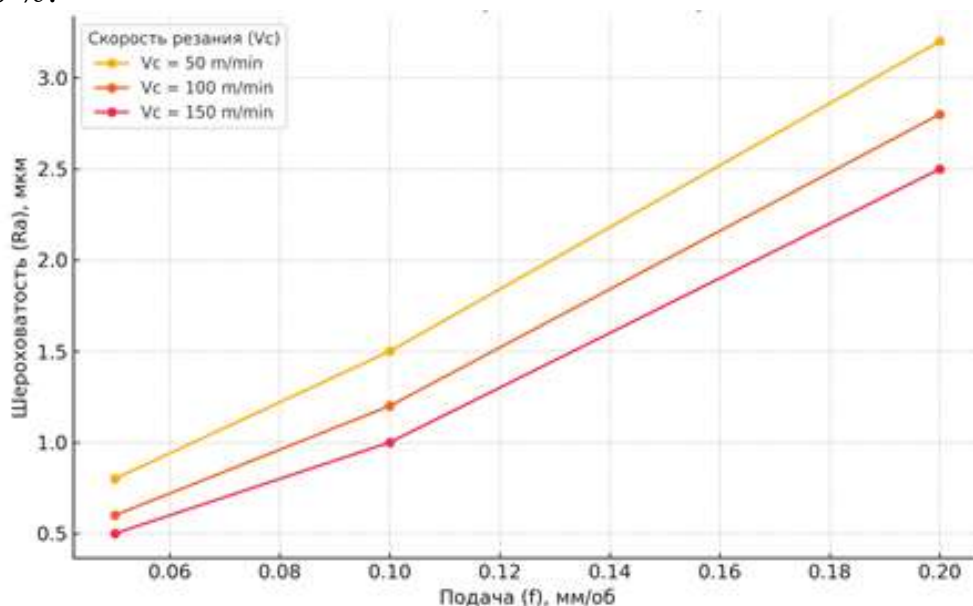


Рис. Влияние подачи на шероховатость поверхности (R_a)

Зависимость высотных параметров шероховатости поверхности от скорости резания имеет выраженный минимум, соответствующий зоне ус-

тойчивого резания, когда отсутствуют наростообразование и колебание технологической системы. В этой зоне скоростей резания и рекомендуется проводить обработку. [7]

Список литературы

1. Аллагулов В. Р., Шкаликов Е. А. Зависимость шероховатости от режимов резания // Молодой ученый. 2023. № 16 (463). – С. 12-16.
2. Саблин П.А., Щетинин В.С. Многофакторное влияние на шероховатость обработанной поверхности // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 2. С. 161–171.
3. ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. М.: Стандартиформ, 2006. 7 с.
4. Давыдов В. В. Основы токарной обработки металлов. М.: Машиностроение, 2018.
5. ГОСТ 4543-71. Стали конструкционные легированные. Марки. М.: Стандартиформ, 2008. 41 с.
6. Аль-Обайди Л.М.Р., Попов М.Е. Влияние методов обработки и режимов резания на качество поверхности // Вестник современных исследований. 2018. № 11.5 (26). с. 309-313.
7. Аллагулов, В. Р. Зависимость шероховатости от режимов резания / В. Р. Аллагулов, Е. А. Шкаликов, Н. М. Кулешов, И. М. Кулешов. // Молодой ученый. – 2022. № 52 (447). с. 14-16.

УДК 621.9.048.4;004.032.26

ВЫБОР РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Захарова В.П., канд. техн. наук, **Злотников Е.Г.**, канд. техн. наук,
Афанасьев И. А., студент, **Прокофьев И. М.**, студент, **Струначев А. С.**, студент
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II

Работа посвящена исследованию бесплатных общедоступных алгоритмов на основе нейросетей для решения задачи подбора параметров электроэрозионной обработки (ЭЭО). Результаты показали, что нейросети ChatGPT и Gemeni предложили одинаковые основные параметры ЭЭО, в то время как DeepSeek предоставил диапазоны значений. Однако ни одна из нейросетей не смогла учесть дополнительные необходимые параметры, такие как плотность тока, частота, тип и скважность импульсов. Авторы приходят к выводу, что на текущий момент общедоступные нейронные сети лишь частично пригодны для решения сложных технических задач в области электроэрозионной обработки.

Ключевые слова: нейросеть, электроэрозионная обработка, DeepSeek, ChatGPT, Gemeni.

THE CHOICE OF MODES OF ELECTROEROSION TREATMENT BASED ON THE ANALYSIS OF NEURAL NETWORKS

Zakharova V. P., Zlotnikov E. G., Afanasyev I. A., Prokofiev I. M., Strunachev A. S.,

The work is devoted to the study of free publicly available algorithms based on neural networks for solving the problem of selecting parameters for electrical discharge machining (EDM). The results showed that the ChatGPT and Gemeni neural networks proposed the same basic EDM parameters, while DeepSeek provided ranges of values. However, none of the neural networks could take into account additional necessary parameters, such as current density, frequency, type and pulse duty cycle. The authors conclude that currently publicly available neural networks are only partially suitable for solving complex technical problems in the field of electrical discharge machining.

Keywords: neural network, electrical discharge machining, DeepSeek, ChatGPT, Gemeni.

Электроэрозионная обработка – это электрофизический метод обработки, при котором требуемая форма и точность достигается посредством воздействия на поверхность заготовки электрических разрядов. В настоящее время в открытом доступе находится достаточно большой объём информации, позволяющий ознакомиться с различными исследованиями в области электроэрозионной обработки, такими как прогнозирование отказов [1], обеспечение износостойкости и усталостной прочности поверхностей [2], разработка функционально-ориентированных технологий [3] и др.

Важно отметить, что на сегодняшний день классические методы исследований электроэрозионной обработки стало возможным дополнять технологиями, работающими на основе искусственного интеллекта. Алгоритмы на основе нейронных сетей играют всё более важную роль в автоматизации электроэрозионной обработки, открывая новые горизонты для оптимизации и повышения эффективности процессов. Алгоритмы искусственного интеллекта способны анализировать обширные наборы данных, генерируемых в процессе обработки, что позволяет вносить корректировки в режиме реального времени для повышения производительности. Такие задачи на основе искусственного интеллекта, как создание адаптивной траектории движения инструмента, планирование профилактического техни-

ческого обслуживания и другие решения, позволяют обеспечить высокий уровень точности и надежности при выполнении электроэрозионных операций [4].

В большинстве случаев подобные решения основываются на работе уникальных алгоритмов на основе нейронных сетей, создающихся для конкретных задач. Предлагается провести сравнительный анализ нескольких общедоступных нейросетей на предмет пригодности к работе со сложной технической информацией по электроэрозионной обработке.

Выбираемые нейросети должны отвечать следующим критериям: бесплатный и свободный доступ, наличие русского интерфейса, возможность работать с файлами типа PDF и DOCX. Список нейросетей, соответствующих таким критериям, и общая информация о них представлены в таблице 1.

Таблица 1

Основная информация о сравниваемых нейросетях

Наименование нейросети	Язык программирования	Разработчик	Дата выхода
ChatGPT 4o mini	Python	OpenAI	30.11.2022
DeepSeek V3	Python	DeepSeek	30.11.2023
Gemeni 1.5 pro	LaMDA	GoogleAI	21.03.2023

Этим нейросетям предлагалось обработать следующий запрос: выбрать оптимальный режим электроэрозионной проволоочной чистовой обработки поверхности заготовки из штамповой стали X12M до шероховатости $Ra=1,6$ мкм, материал проволоки – медь. Предполагалось, что сам запрос не будет содержать в себе уточняющей информации о необходимых параметрах обработки, чтобы выяснить, способна ли нейросеть определить их самостоятельно? Для этого каждая нейросеть обучалась на предложенных статьях по соответствующим темам [2, 5–8].

Результаты анализа нейросетями предложенного материала представлены в таблице 2.

Полученные данные сравнивались с рекомендованными параметрами режима обработки проволочным инструментом:

- напряжение: 40 В;
- сила тока: 7 А;
- время импульса: до 20 мкс;
- время паузы: 20–30 мкс;
- зазор между электродом и заготовкой: 20 мкм;
- скорость проволоки: 20–30 м/мин;
- шероховатость Ra : 1,6 мкм [9].

Выводы по работе

- нейросети Chatgpt и Gemeni предложили одинаковые однозначные параметры, в то время как DeepSeek назначил не только конкретные значения, но и диапазоны;

- исследуемые нейросети не указали значения следующих необходимых параметров: плотность тока, частота, тип и скважность импульса;

Таблица 2

Результаты анализа

Наименование нейросети	Предложенный режим обработки
ChatGPT 4o mini	Напряжение: 50 В
	Сила тока: 9 А
	Энергия импульса: 96,15 мкДж
	Время импульса: 21 мкс
	Время паузы: 51 мкс
	Зазор между электродом и заготовкой: 18 мкм
	Скорость проволоки: 82,5 м/мин
	Производительность: 4,1 мм/мин
	Шероховатость Ra: 1,6 мкм
Gemini 1.5 pro	Напряжение: 50 В
	Сила тока: 9 А
	Энергия импульса: 96,15 мкДж
	Время импульса: 21 мкс
	Время паузы: 51 мкс
	Зазор между электродом и заготовкой: 18 мкм
	Скорость проволоки: 82,5 м/мин
	Производительность: 4,1 мм/мин
	Шероховатость Ra: 1,6 мкм
DeepSeek V3	Напряжение: 50 В
	Сила тока: 2 А
	Энергия импульса: 350–650 мкДж
	Время импульса: 20–25 мкс
	Время паузы: 50–60 мкс
	Зазор между электродом и заготовкой: 18–30 мкм
	Скорость проволоки: 80–90 м/мин
	Производительность: 3–5 мм/мин
	Шероховатость Ra: 1,6 мкм

- полученные значения времени импульса незначительно превышают рекомендованные. Сила тока, предложенная нейросетью DeepSeek, существенно ниже оптимальных [9].

- сравнивая полученные данные с аналогичным исследованием, связанным с применением нейронных сетей [1], можно заключить, что общедоступные нейросети, обученные узконаправленной технической литературой, не способны на ее глубокий анализ.

- на текущий момент данные алгоритмы на основе нейронных сетей лишь частично пригодны для решения сложных технических задач.

Список литературы

1. Abhilash P. M. Wire EDM failure prediction and process control based on sensor fusion and pulse train analysis [Текст] // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. — 2022. — № 118. — pp. 1453-1467.

2. Федонин О.Н., Съянов С.Ю., Папикян А.М. Обеспечение износостойкости и усталостной прочности поверхностей при электроэрозионной обработке [Текст] // Научно-технические технологии электро-физико-химической и комбинированной обработки. — 2017. — № 11. — С. 10-14.
3. Съянов С.Ю. Разработка функционально-ориентированных технологических процессов электроэрозионной обработки [Текст] // Вестник Брянского государственного технического университета. — 2017. — № 5. — С. 36-41.
4. Empire MFG Latest Trends in EDM Automation: From Robotics to Smart Manufacturing / [Электронный ресурс] // IronMachine: [сайт]. — URL: <https://ironmachinetool.com/latest-trends-in-edm-automation-from-robotics-to-smart-manufacturing/>.
5. Бойко А.Ф., Пузачева Е.И., Жуков Е.М. Исследование шероховатости обработанной поверхности при электроэрозионной прошивке малых отверстий с использованием малоизносной схемы генератора импульсов с индуктивностью в разрядной цепи [Текст] // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. — 2015. — № 3. — С. 98-102.
6. Панов Д.О., Абляз Т.Р. Электронно-микроскопический анализ поверхности стали 65Г после электроэрозионной обработки [Текст] // Современные проблемы науки и образования. — 2014. — № 2. — С. 10-17.
7. Петроченко С.В., Бисерикан М.И. Выбор оптимальных режимов электроэрозионной обработки пазов детали «диск» малогабаритного двухконтурного турбореактивного двигателя [Текст] // Международный научно-исследовательский журнал. — 2021. — № 6. — С. 146-151.
8. Карлявин А.М. Исследования качества обработки методом электроэрозионной проволоочной резки металла [Текст] // Технические науки. — 2023. — № 76. — С. 70-75.
9. Основные сведения об электроэрозионной обработке / [Электронный ресурс] // Metallichesky-portal.ru: [сайт]. — URL: https://metallicheskiy-portal.ru/articles/obrabotka/elektro-erozionnaya/osnovnie_svedenia/4.

УДК 621.763

ПРИМЕНЕНИЕ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ ВСТРЕЧНОГО УДАРА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Зубов В. В., канд. техн. наук, **Фролов С.Г.** канд. техн. наук
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург

Предложена технология получения кварцевого порошка для футеровки горного оборудования с помощью лабораторного измельчителя встречного удара. Выполнены исследования полученного материала. Определены пределы прочности композитов на растяжение и изгиб, модуль упругости первого рода при изгибе в функции объемного содержания порошка кварца с крупностью частиц 8 мкм. Качество порошка признано удовлетворительным.

Ключевые слова: измельчитель встречного удара, износостойкая футеровка, абразивный износ, получение кварцевого порошка, свойства кварцевого порошка

THE USE OF A COUNTER IMPACT SHREDDER TO OBTAIN PROTECTIVE COATINGS

Zubov V. V., Simisinov D. I.

A technology for obtaining quartz powder for lining mining equipment using a laboratory counter-impact shredder is proposed. Studies of the obtained material have been carried out. The tensile and bending strength limits of composites and the modulus of elasticity of the first kind during bending are determined as a function of the volume content of quartz powder with a particle size of 8 microns. The powder quality is considered satisfactory.

Keywords: counter impact shredder, wear-resistant lining, abrasive wear, quartz powder production, quartz powder properties

Одним из наиболее эффективных способов защиты горного оборудования от негативного воздействия различных факторов является использование разнообразных защитных покрытий, особенно композитных футеровок. Важнейшим элементом является абразивостойкая футеровка, которая служит для предотвращения износа поверхности деталей под воздействием твердых частиц, перемещающихся в потоке жидкости. Перспективным направлением для разработки футеровок, обладающих стойкостью к абразивному износу, является добавление минеральных порошкообразных добавок в состав связующего (наполнителей) [1, 2].

Наиболее доступным материалом в качестве наполнителя является кварцевый порошок с крупностью частиц 8...100 мкм в различных объемных отношениях к связующему. Кварц, обладая твердостью 7 по Моосу, дает возможность повысить абразивную стойкость покрытия.

Требуемые для опытно-промышленного производства объемы порошка получены с помощью лабораторного измельчителя встречного удара (ИРВУ). На установке ИЛЭ-200-50В [3] осуществлено измельчение кварца с исходным максимальным размером куска 3 мм. Получена проба массой 1 кг, из которой путем отсева выделены фракции 8, 25 и 100 мкм.

Для оценки эффективности применения футеровки были проведены исследования полученного материала. Определению подлежали пределы прочности композитов на растяжение и изгиб, а также модуль упругости

первого рода при изгибе в функции объемного содержания порошка кварца с крупностью частиц 8 мкм.

Пределы прочности устанавливались путем нагружения образцов до разрушения с последующим расчетом по формулам:

$$\sigma_p = \frac{F_p}{A}; \quad (1)$$

$$\sigma_{\text{и}} = \frac{F_p l}{4W_{\text{и}}}; \quad (2)$$

где σ_p , $\sigma_{\text{и}}$ – пределы прочности на растяжение и изгиб, МПа; F_p – значение разрушающей нагрузки, Н; A – площадь поперечного сечения образца, мм²; l – расстояние между опорами в испытаниях на изгиб, мм; $W_{\text{и}}$ – момент сопротивления сечения образца изгибу, мм³, равный:

$$W_{\text{и}} = \frac{bh^2}{6}, \quad (3)$$

где b , h – ширина и высота прямоугольного сечения образца, мм.

Модуль упругости при изгибе, МПа, определялся по формуле:

$$E = \frac{F_k l^3}{48vJ_x}, \quad (4)$$

где F_k – контрольная нагрузка, Н; v – прогиб образца в середине пролета (в середине расстояния l), мм; J_x – момент инерции сечения образца, мм⁴, равный:

$$J_x = \frac{bh^3}{12}. \quad (5)$$

Результаты испытаний сведены в табл.

Таблица

Результаты испытаний образцов с кварцевым наполнителем

Номер серии	Объемное содержание наполнителя δ , %	Средний предел прочности, МПа		Модуль упругости при изгибе E , МПа
		на растяжение σ_p	на изгиб $\sigma_{\text{и}}$	
1	0	28,5	49,7	3603
2	5	22,0	52,7	3770
3	10	23,3	53,2	4059
4	15	30,5	47,8	4495
5	20	–	53,9	4688

В итоге, значения пределов прочности оказались приблизительно одного уровня (рис.), что опровергает общепринятое представление о том, что прочность композита снижается с внесением в него минеральной добавки [4, 5].

В то же время явно просматривается тенденция влияния содержания наполнителя на модуль упругости. Зависимость иллюстрируется графиком, также показанным на (см. рис.) Уравнение регрессии:

$$E(\delta) = 3600 + 55\delta, \quad (6)$$

где δ – содержание наполнителя, %.

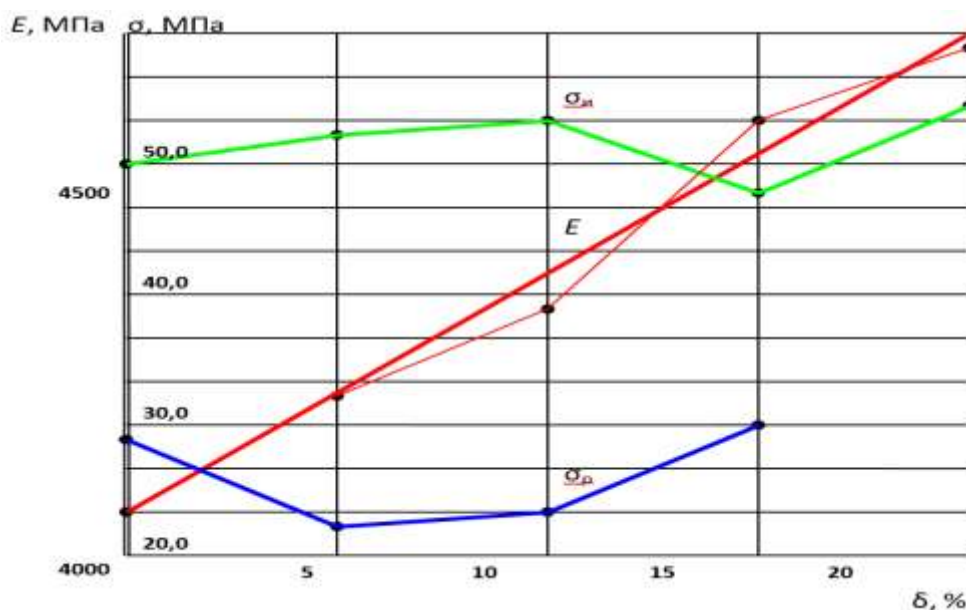


Рис. Зависимость прочностных свойств композита от объемного содержания наполнителя

Прочностные свойства композита на этом этапе исследований признаны приемлемыми для футеровки. Дальнейшая работа в указанном направлении потребовала получения кварцевого порошка различных фракций в количествах, необходимых для введения в состав смеси. Качество порошка признано удовлетворительным.

Список литературы

1. Боярских Г.А., Симисинов Д.И. Сравнительная оценка эффективности упрочнения элементов опоры шарошечных долот // Известия вузов. Горный журнал. 2002. №5. С. 65-72.
2. Simisinov D.I., Afanas'ev A.I., Potapov V.Y. Strengthening the Blades of a High-Speed Mixer on the Basis of Wear Curves Refractories and Industrial Ceramics, 2016, 56 (5), pp. 453-455.
3. Зубов В.В., Симисинов Д.И., Фролов С.Г. Определение количества и высоты активных элементов ротора измельчителя встречного удара // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2024. № 1-1. С. 193-205.
4. Холодников Ю.В., Альшиц Л.И. Футеровка технологического оборудования и строительных конструкций композиционными материалами: справочное пособие. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2013. – 145 с.
5. Холодников Ю. В. Антикоррозионная защита технологического оборудования композиционными материалами // Композитный мир. – 2016. – №. 3. – С. 56-62.

УДК 622.44

ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА ЛОПАТКИ НА ШУМОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСЕВОГО ВЕНТИЛЯТОРА МЕСТНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ

Копачев В. Ф., д-р техн наук, **Кочнева Л. В.**, ст. препод.

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

Рассмотрены новые решения по снижению шума вентиляторов местного проветривания для шахт. Предложена расчетная зависимость для определения собственной частоты колебаний лопатки осевого вентилятора в зависимости от материала лопатки и ее геометрической формы. Показано влияние собственной частоты колебаний лопатки осевого вентилятора на возникновения шума взаимодействия лопаток рабочего колеса, направляющего и спрямляющего аппаратов. Приведены результаты физического эксперимента по измерению шума осевого вентилятора, выполненного с рабочими колесами из разных материалов. Результаты экспериментов подтверждают перспективность создания малошумных осевых вентиляторов путем выполнения рабочих колес из материалов с другими физико-механическими характеристиками.

Ключевые слова: вентилятор, шум, частота колебаний, проветривание, осевой вентилятор.

INFLUENCE OF BLADE MATERIAL ON NOISE CHARACTERISTICS OF AXIAL LOCAL VENTILATION FAN

Kopachev V. F., Kochneva L. V.

New solutions for noise reduction in local ventilation fans for mines are considered. A calculation dependence is proposed for determining the natural frequency of axial fan blade oscillations depending on the blade material and its geometric shape. The influence of the natural frequency of axial fan blade oscillations on the occurrence of noise from the interaction of the blades of the impeller, guide and straightener devices is shown. The results of a physical experiment on measuring the noise of an axial fan, performed with impellers made of different materials, are presented. The experimental results confirm the prospects for creating low-noise axial fans by making impellers from materials with other physical and mechanical characteristics.

Keywords: fan, noise, oscillation frequency, ventilation, axial fan.

Обязательным условием безопасного ведения горных работ является надёжная и качественная вентиляция, обеспечивающая необходимые санитарно-гигиенические условия труда на рабочих местах горнорабочих. Для местной вентиляции наиболее широко используются осевые вентиляторы, обладающие высокой удельной производительностью, компактностью и удобством эксплуатации и обслуживания. В то же время они имеют и существенный недостаток – высокий уровень шума, достигающий у вентиляторов больших типоразмеров 145 дБА, в то время как болевой порог оценивается в 140 дБ для тонального сигнала и 120 дБ для сплошного спектра, а наибольший уровень на рабочих местах, принятый санитарными нормами, равен 80 дБА. Средства звукоизоляции, борьба с вибрацией и совершенствование проточной части в большинстве случаев дают лишь частичный эффект, и воздействие шума ОВ местного проветривания на горнора-

бочих остаётся на высоком уровне, приводя к утомлению, снижению скорости реакций, а в тяжелых случаях – к травматизму и авариям.

Работающие в горных выработках и находящиеся под постоянным шумовым воздействием испытывают раздражительность, повышенную утомляемость, снижение концентрации внимания, что в конечном итоге приводит не только к физиологическим отклонениям в организме, но и к значительному снижению производительности труда [1]. Исследованиями установлено, что при увеличении уровня звука от 70 до 90 дБА производительность труда снижается на 20 % [2].

Одним из способов снижения шума вентиляторов местного проветривания является снижение шума взаимодействия лопаток рабочего колеса, направляющего и спрямляющего аппаратов.

Шум взаимодействия усиливается, когда частота возмущающих воздействий близка к частоте собственных колебаний лопатки. Лопатка входит в резонанс, амплитуда её колебаний возрастает, соответственно увеличивается и звуковая мощность.

Одним из возможных путей воздействия на собственную частоту лопатки является обоснованный выбор материала лопатки. Моделируя лопатку в виде консольно закреплённого стержня постоянного поперечного сечения, получим собственные колебания такого элемента [3] с частотой, равной:

$$f_n = \frac{\lambda_n}{2\pi l_{\text{д}}} \sqrt{\frac{EJ}{m}}, \quad (1)$$

где λ_n – числовой коэффициент, зависящий от формы колебаний; $l_{\text{д}}$ – длина стержня; E – модуль упругости материала; J – момент инерции поперечного сечения; m – масса стержня.

Переходя к крыловидной форме стержня, с учетом геометрии данного элемента [4], формула (1), для определения частоты собственных колебаний лопатки осевого вентилятора, примет вид:

$$f_0 = \frac{\lambda}{2\pi l^2} \sqrt{\frac{EJ_x}{\rho A}} \quad (2)$$

где λ – коэффициент формы лопатки, зависящий от соотношений площадей и моментов инерции корневого и концевых сечений; $l = (R - r)$ – длина пера лопатки; R , r – радиусы, на которых расположены концевое и корневое сечения, соответственно; E , ρ – модуль упругости и плотность материала лопатки, соответственно.

Учитывая влияние закрутки лопатки и центробежных сил, действующих на лопатку вентилятора [3, 4] получим окончательное выражения для определения собственной частоты колебаний лопатки осевого вентилятора:

$$f = \sqrt{\left[f_0^2 + B \left(\frac{\omega}{2\pi} \right)^2 \right] \left[1 - \frac{0,0361 q^2 \gamma^2}{(1 + 0,885 q^2)(1 + 0,0364 \gamma^2)} \right]}, \quad (3)$$

где B – поправочный коэффициент; ω – угловая скорость колеса; q – относительная изогнутость профиля; γ – параметр закрученности профиля, отражающий зависимость угла поворота какого-либо сечения относительно корневого в зависимости от радиуса на котором данное сечение расположено.

Исследования были проведены для рабочих колес одинаковой геометрии вентилятора местного проветривания СВМ-5, изготовленных: первое – из алюминиевого сплава, второе – из композитного материала. Модули упругости и плотность материалов: алюминий – $E_1 = 100$ ГПа; $\rho_{м1} = 2700$ кг/м³; композит – $E_2 = 6...10$ ГПа; $\rho_{м2} = 1700...1900$ кг/м³. Расчетная частота собственных колебаний лопаток по формуле (3) для каждого материала составила: алюминиевый сплав ~2500 Гц, композитный материал ~868 Гц. Таким образом, выполнение лопаток из композита приводит к снижению частоты собственных колебаний лопатки в 2,88 раза.

Результаты физического эксперимента по измерению уровня шума, создаваемого вентилятором местного проветривания с рабочими колесами, выполненными из разных материалов, представлены на рис. 1.

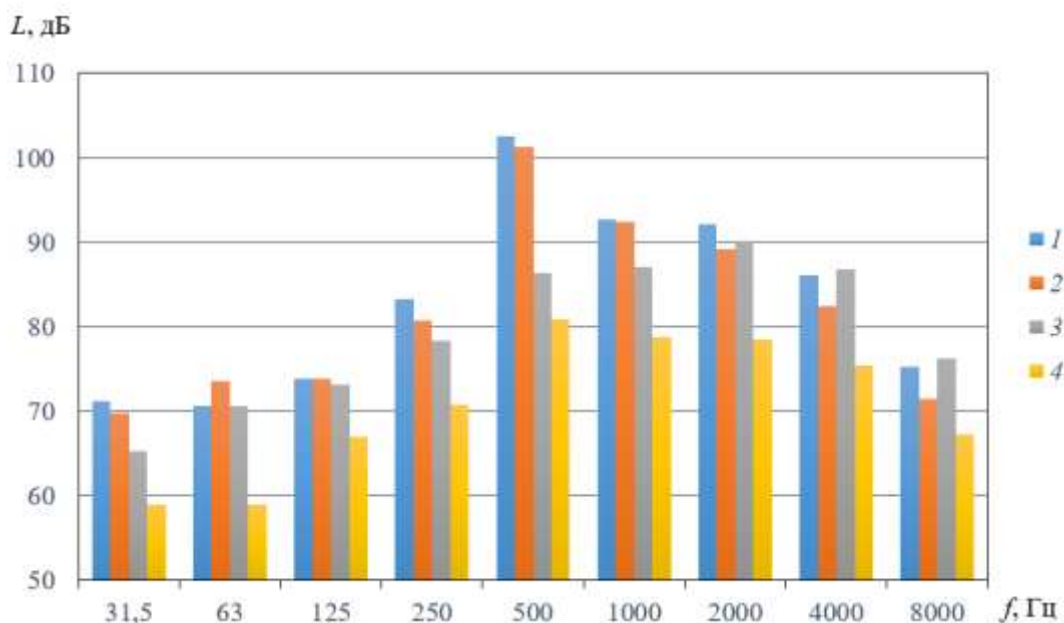


Рис. 1. Гистограмма распределения уровня шума вентилятора СВМ-5 по частотным октавам для аэродинамических схем:

1 – НА+К+СА, алюминиевый сплав; 2 – НА+К+СА, композит;
3 – К+СА, алюминиевый сплав; 4 – К+СА, композит

Замеры уровня шума выполнены для аэродинамических схем НА+К+СА и К+СА, где: НА – направляющий аппарат, К – колесо, СА – спрямляющий аппарат. Измерения производились цифровым интегри-

рующим шумомером «Октава-101АМ» со стороны входа потока в вентилятор на расстоянии 1 м от колеса.

В целом характеристики подобны, заметно, однако, что на высоких частотах уровень шума вентилятора с композитным колесом на 3-8 дБ ниже.

Переход к схеме К+СА привел к существенному изменению шумовых характеристик. Пик на частоте 500 Гц сменился значительно меньшим увеличением силы звука. Кроме того, заметно повышение уровня звука, создаваемого алюминиевым колесом, на частоте 2000 Гц. Шум вентилятора с композитным колесом ниже по всей ширине диапазона частот, что выразилось в снижении эквивалентного уровня на 10 дБА.

Существенную роль в шумовом фоне играет вихревой шум, поэтому спектральные характеристики имеют в целом сглаженный характер.

Оснащение вентилятора СВМ-5 колесом с лопатками из композита позволило снизить эквивалентный уровень звука на 10 дБА, что подтверждает перспективность создания малошумных осевых вентиляторов путем выполнения рабочих лопаток из материалов с другими физико-механическими характеристиками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Особенности сочетанного действия шума и инфразвука на организм / В.Н. Зинкин, И.М. Ахметзянов, С.П. Драган [и др.] // Безопасность жизнедеятельности. 2011. № 9. С 2-10.
2. Шкаринов, Л.Н., Влияние ограничения шума на повышение производительности труда и снижение заболеваемости / Л.Н. Шкаринов, А.Н. Балова, С.Т. Алимова // Борьба с шумом и звуковой вибрацией: матер. семинара. М.: МДНТП, 1982. С 16-19.
3. Степанов А. Г. Динамика машин. Екатеринбург: УрО РАН, 1999. 304 с. ISBN 5-7691-0877-8.
4. Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иосилевич Г.Б. Расчет на прочность деталей машин: справочник / под общ. ред. И.А. Биргера. М.: Машиностроение, 1993. 640 с.

УДК 621.7.08

ИЗУЧЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ДЛИННОМЕРНОЙ ДЕТАЛИ В ПРОЦЕССЕ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ

Симисинов Д. И.¹, д-р техн. наук, Ветлужских Д.Н.², Волегов С.А.¹, канд. техн. наук¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург²АО «Северский трубный завод» г. Полевской

В работе рассмотрены причины деформации в процессе резания металла. Выполнен поиск и устранение причин деформации заготовки в процессе точения на токарном станке. В результате изменения последовательности переходов и режимов обработки установлено снижение деформаций детали в два раза.

Ключевые слова: Токарный станок, оправка, длинномерная деталь, изгиб, деформация

STUDY OF THE DEFORMATION OF A LONG-LENGTH PART IN THE TURNING PROCESS

Simisinov D.I., Vetluzhskikh D.N., Volegov S.A.

The paper considers the causes of deformation during metal cutting. The search and elimination of the causes of the deformation of the workpiece during turning on a lathe has been performed. As a result of changing the sequence of transitions and processing modes, a twofold reduction in deformations of the part was found.

Keywords: Turning machine, mandrel, long part, bending, deformation

Анализируется обработка детали «оправка» – это трубный шаблон, представляющий собой специальное изделие, имеющее круглое сечение и длину порядка 14 м, которое используется для формирования геометрического параметра выпускаемых труб – внутреннего диаметра и изогнутости. В среднем одна оправка выдерживает обработку 1500 – 2000 шт. труб в зависимости от химического содержания изделия и соблюдения технологии производства продукции. Оправки (рис. 1) выпускаются разные по длине, диаметру, внешнему виду, материалу. Материал анализируемой детали – сталь X40CrMoV5.

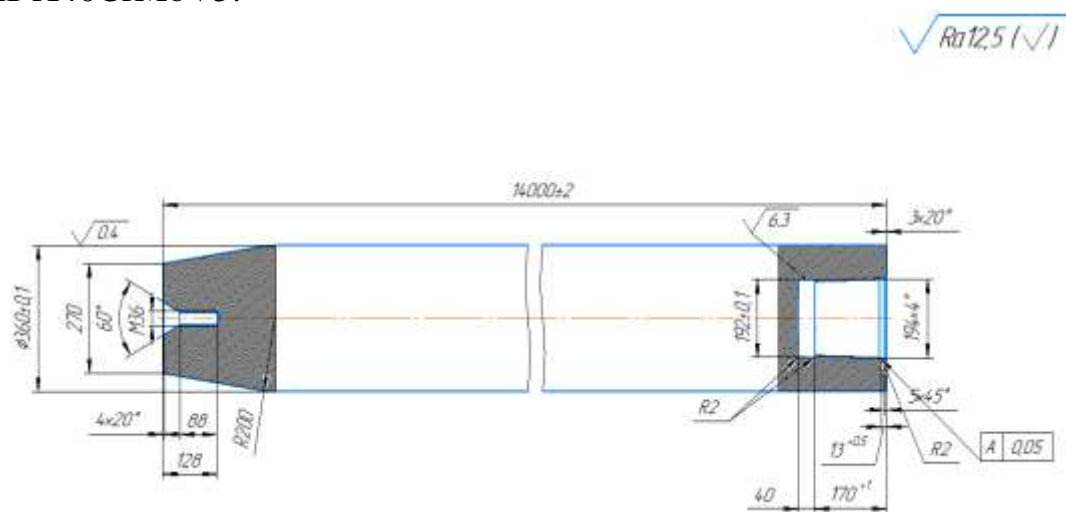


Рис. 1. Чертеж оправки

При черновой токарной обработке цилиндрической поверхности, часть оправок уходят в бракованную продукцию, часть отправляются на гидравлический пресс, по причине большого отклонения по изгибу детали.

На рис. 2 представлен пример распределения деформаций оправки по её длине.

Изучение причин деформации изгибом заготовки на токарной операции черновой обработки. Оснащение операции: токарный станок с ЧПУ «СКВ 61100/18600», сменная твердосплавная пластина «SNMG 150616 - OPR OC2330S» предназначенная для черновой обработки стали, от стабильного до тяжелого точения. Сплав OC2330S имеет многослойное CVD покрытие.

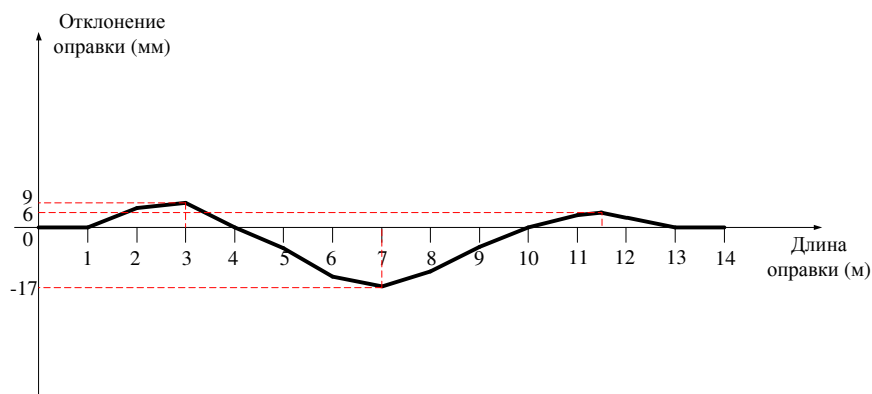


Рис. 2. Пример изгиба оправки

Возможными причинами по изгибам цилиндрической поверхности является: последовательность переходов обработки; скорость резания и подача; качество поверхности заготовки; глубина резания.

Для сравнительного анализа и понятия, как технология обработки металла влияет на изгиб заготовки вовремя точения, было предусмотрено 2 варианта переходов по точению поверхности $\varnothing 360$. В каждом задании будем по следствию эксперимента менять глубину резания, скорость резания. Перед обработкой фиксируем исходную деформацию заготовки.

Технология обработки № 1 заключалась в том, что заготовку обрабатывали сразу по всей длине. Вначале протачиваются 4 площадки под люнеты, затем протачивается вся заготовка, оставляя хвост заготовки не проточенной, так как шпиндель будет держать часть для вращения детали. По окончании обработки, производится переустановка на хвост оправки, и завершают переточку до заданного диаметра.

Технология обработки № 2 отличается точением заготовки частями. Заготовка делится на 4 сегмента.

При технологии обработки № 1 изгиб детали идет больше, чем на технологии обработки № 2, возможной причиной изгибов является не верно составленная технология обработки, что доказывается следующими положениями:

- 1) качество обрабатываемой заготовки оказывает большое влияние на результат обработки;
- 2) неверно принятая последовательность обработки влияет на изгиб детали;

3) форсированные режимы резания также оказывают влияние на изгиб детали во время точения.

Таблица. Результаты исследования

Вариант	Описание	Длина резания (мм)	Коробление до корректировки (мм)	Коробление после корректировки (мм)
1. Базовые условия обработки				
1	Непрерывное точение	13506	10	6
2	Сегментами (4 сегмента)	3500	7	3
2. Высокая скорость резания металла				
1	Непрерывное точение	13506	15	10
2	Сегментами (4 сегмента)	3500	15	7
3. Увеличенный припуск				
1	Непрерывное точение	13506	-	-
2	Сегментами (4 сегмента)	3500	5	1
4. Низкое качество обрабатываемой заготовки				
1	Непрерывное точение	13506	7	3
2	Сегментами (4 сегмента)	3500	3	3

Эксперименты заключались в контрольном точении 10 заготовок по каждому варианту. Дополнительно изменялись режимы и качество исходной заготовки.

Отклонения по изгибу измерялись на гидравлическом прессе, который предназначен для правки оправок. Измерение проводили лазером, который сканировал оправку вдоль оси. Каждый метр, для более точного измерения, сканировался в течение 2 минут. По окончании сканирования определяется отклонение на каждый метр детали.

По результатам эксперимента (табл.) было выявлено, что вследствие длительной непрерывной обработки проходит процесс теплообразования, что отрицательно влияет на качество обрабатываемой поверхности и приводит к температурной деформации.

Список литературы

1. Мацейн Н. П., Носов Н. В., Якубович Е. А. Моделирование деформации нежесткого длинномерного вала при токарной обработке на станках с ЧПУ //Journal of Advanced Research in Technical Science. 2021. №. 23-1. С. 11-18.
2. Раджаб А. О. Л. М., Попов М. Е. Моделирование зависимости величины деформации заготовки от сил резания при токарной обработке длинномерных валов//Молодой исследователь Дона. 2020. №. 4 (25). С. 10-18.
3. Жданов А. А., Плотников А. Л., Чигиринский Ю. Л. Токарная обработка нежестких валов с переменной подачей на станках с ЧПУ //Сборник научных трудов SWorld. 2013. Т. 6. №. 4. С. 69-75.
4. Жданов А. А. и др. Допуск формы как эквивалент величины прогиба детали в подсистеме обеспечения точности токарной обработки нежестких валов на станках с ЧПУ //Сборник научных трудов SWorld. 2014. Т. 6. №. 4. С. 53-58.

УДК 621.7.08

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ «СОЕДИНЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ» ПОДПОРНОГО НЕФТЯНОГО НАСОСА НА ОБРАБАТЫВАЮЩЕМ ЦЕНТРЕ

Симисинов Д.И.¹, д-р техн. наук, Моклоков Д.С.², Глинникова Т.П.¹ канд. техн. наук,

¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург

²АО «КОНАР», г. Челябинск

Проведена оптимизация производства включая анализ контрольных измерений, подбор технологических баз и режимов резания. Разработан и внедрен технологический процесс с одним установом на основе разработанной оснастки на горизонтальном обрабатывающем центре. Количество отклонений размеров от заданных сократилось в 10 раз.

Ключевые слова: обрабатывающий центр, подпорный насос, геометрические отклонения, технологическое базирование, погрешность смены технологической базы

ACCELERATED TESTS OF THE LOCKING BEARING OF THE SUPPORT OF A CONE DRILL BIT ON A PHYSICAL MODEL

Simisinov D.I., Maklakov D.S., Glinnikova T.P.

The optimization of production has been carried out, including the analysis of control measurements, the selection of technological bases and cutting modes. A technological process with a single installation based on the developed tooling on a horizontal machining center has been developed and implemented. The number of size deviations from the set size has been reduced by 10 times.

Keywords: processing center, back-up pump, geometric deviations, technological basing, technological base change error

Соединение гидравлическое – является корпусной деталью нефтяного насоса вертикального подпорного насоса соединяющая первую ступень со второй (рис. 1).

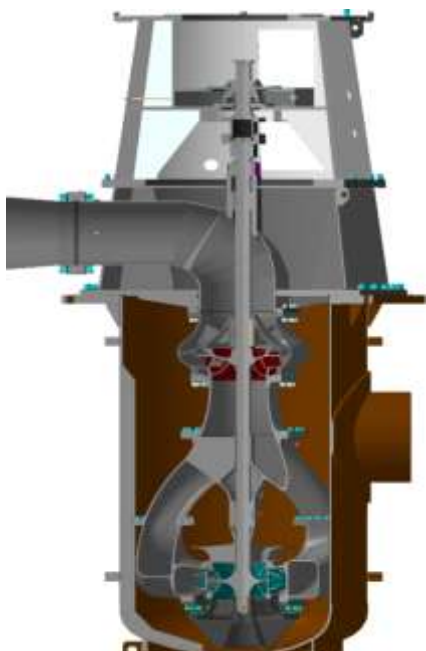


Рис. 1. Подпорный
вертикальный насос (НПВ)

Подпорный вертикальный насос служит для подачи нефти к магистральным насосам и создания необходимого для их работы кавитационного запаса. Такие насосы используют для уменьшения влияния кавитации. Конструктивно это насос, расположенный в нижней части стакана. Насос состоит из рабочих колес, вала ротора насоса, отвода и соединения гидравлического. Нефть входит в стакан по всасывающему патрубку, выходит по напорным патрубкам. Напорные патрубки конструктивно переходят в напорную камеру.

Спиральный отвод – это канал в спиральном корпусе, охватывающий рабочее колесо по окружности. Спиральный канал оканчивается выходным диффузором, в котором происходит дальнейшее уменьшение скорости и преобразование кинетической энергии жидкости в потенциальную.

В зависимости от габаритов применяют цельный без фланцевого соединения или сборный спиральный корпус (с подачей более 3600 м³/ч), т.к. увеличиваются габариты и выполнение цельным нецелесообразно.

В рассматриваемом насосе спиральный отвод (рис. 2) состоит из трех частей, одной из которых является соединение гидравлическое.

Заготовка детали – отливка 3-й группы ГОСТ 977-88, категория прочности К-25. Точность отливки: проточной части 11-0-0-11, остальных поверхностей 12-0-0-12 ГОСТ Р 53464-2009. Материал: Сталь 20ГЛ.

Шероховатость основных и базовых поверхностей $Ra=1,6$ мкм, для неуказанных поверхностей $Ra=6,3$ мкм.

Для обеспечения собираемости и центровки статорной части насоса на детали имеется посадочный диаметр на верхнем фланце, который необходимо выполнить по 6 качеству и выдержать требования по расположению относительно посадки под подшипник скольжения по 7 качеству.

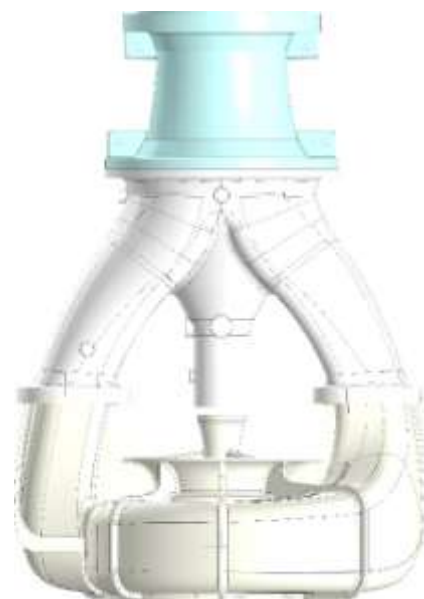


Рис. 2. Спиральный отвод

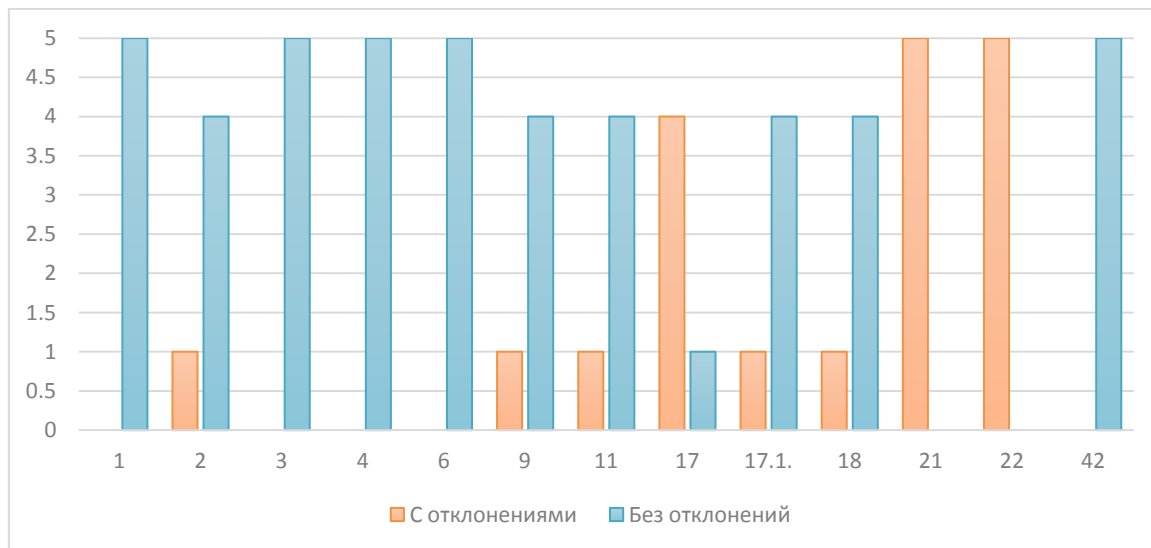


Рис. 3. Критичные параметры для качества

На основании данных, предоставленных на диаграмме (рис. 3), наиболее частыми отклонениями и повторяющимися отклонениями являются размеры с порядковыми номерами:

- п.17 допуск перпендикулярности 0,03 мм;
- п. 21 допуск перпендикулярность 0,03 мм;
- п. 22 допуск соосности 0,03 мм.

Таким образом, основным признаком выявления несоответствий геометрических параметров детали являются допуски расположения поверх-

ностей. Преобладающей причиной является накапливаемая погрешность из-за переустановов и не технологичности детали [1, 2, 3].

Оценка точности технологических процессов производится с использованием полученных выборочных статистических характеристик $\bar{x}$ и S путем определения показателей – коэффициентов точности K_T , настроенности K_N через сопоставление их с установленным в НТД полем допуска δ на параметр [4]:

$$K_T = \frac{6S}{\delta} \leq 1; K_N = \frac{\bar{x} - x_\delta}{\delta} \rightarrow 0 \quad (1)$$

где: δ – поле допуска на параметр; x_δ – середина поля допуска.

Расчет коэффициента точности и настроенности допуска перпендикулярности (п. 17, рис. 3) ведем по данным замеров, представленных в табл. 1.

Таблица 1. Значения отклонений п.17 - допуск перпендикулярности 0,03 мм

ni	1	2	3	4	5
x_i , мм	0,0447	0,1051	0,1036	0,0819	0,1447

Поле допуска – 0,03 мм

Середина поля допуска – 0,015 мм

Расчет выборочного среднего арифметического:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{5} (0,0447 + 0,1051 + 0,1036 + 0,0819 + 0,1447) = 0,0994 \quad (2)$$

Расчет выборочного среднего квадратического отклонения:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 (x_i - 0,0994)^2} = 0,0316 \quad (3)$$

Определение коэффициента точности рассматриваемого размера:

$$K_T = \frac{6S}{\delta} = \frac{6 \cdot 0,031617}{0,03} = 6,32 \quad (4)$$

Определение коэффициента настроенности рассматриваемого размера:

$$K_N = \frac{\bar{x} - x_\delta}{\delta} = \frac{0,0994 - 0,015}{0,03} = 2,81 \quad (5)$$

Аналогичные расчеты проведем и для п. 21 и п. 22 и внесем в табл. 2.

Таблица 2. Результаты расчетов

п.	Размер, мм	$\bar{x}$	S	K_T	K_N
17	0,03	0,099	0,0316	6,323	2,813
21	0,03	0,096	0,0299	5,999	2,726
22	0,03	0,113	0,0408	8,172	3,266

После выполненного обзора можно сделать вывод, что действующая технология изготовления детали имеет ряд недостатков. Решением выявленных недостатков является проведение анализа результата контроля на КИМ критичных параметров для качества, совершенствование технологического процесса по результатам анализа и выбор наиболее подходящего технологического оборудования.

Причиной повышенной дефектности по размерам является переустанов детали на операции. Для обработки за один установ необходимо раз-

работать станочное приспособление, которое обеспечивает жесткое закрепление детали [2, 3].

Разработанная конструкция приспособления, устанавливаемого на поворотный стол станка Pama SpeedRam 2000, приведена на рис. 4.

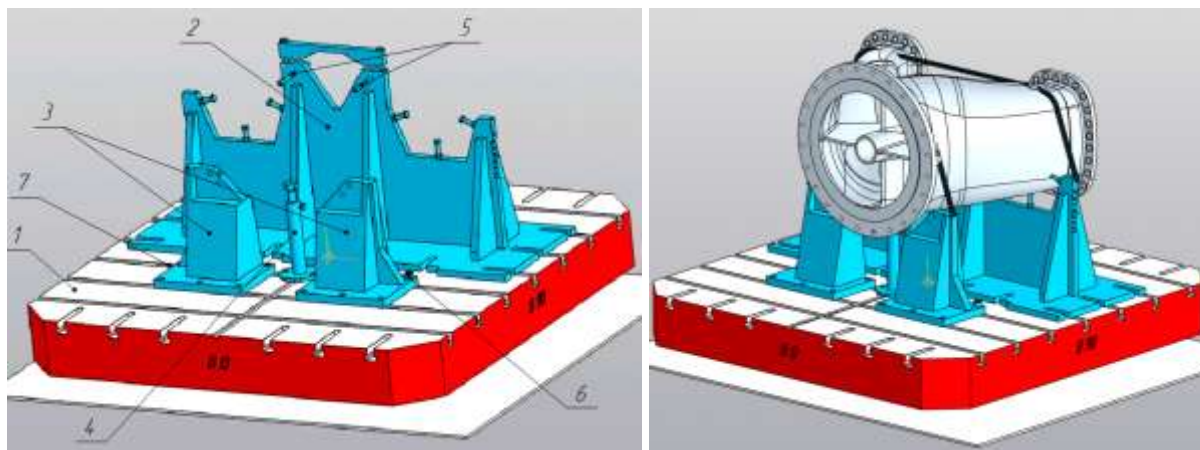


Рис. 4. Установочное приспособление: 1 – стол; 2 – корпус; 3 – опора; 4 – домкрат винтовой; 5 – шпилька; 6 – винт; 7 – сухарь.

Рассмотрим результаты замеров обработанных деталей (5 шт.) по критически важным для качества параметрам в таблице 3. Исходя из табл. 3. можно сделать вывод, что технология позволяет получать годные изделия по новому технологическому техпроцессу с применением горизонтального обрабатывающего центра.

У приспособления есть несколько основных элементов, которые обеспечивают жесткое крепление заготовки, а также позволяют регулировать ось наклона. После установки детали в приспособлении, ось заготовки привязывается к оси станка.

Таблица 3. Таблица отклонений

Контролируемые параметры	Количество отклонений по вариантам	
	№1	№2
1. Размер $\varnothing 1015_{-2,6}$ мм	0	0
2. Размер $\varnothing 830g6_{(-0,082)}^{(-0,026)}$ мм	1	1
3. Размер $\varnothing 138^{+1}$ мм	0	0
4. Размер $\varnothing 150^{+1}$ мм	0	0
6. Размер $\varnothing 180^{+1}$ мм	0	0
9. Допуск перпендикулярности 0,1 мм	1	0
11. Размер $\varnothing 177,8G7_{(+0,014)}^{(+0,054)}$ мм	1	1
17. Допуск перпендикулярности 0,03 мм	4	0
17.1. Допуск перпендикулярности 0,03 мм	1	0
18. Размер $985 \pm 0,5$ мм	1	0
21. Допуск параллельности 0,03 мм	5	0
22. Допуск соосности 0,03 мм	5	1
42. Размер $5 \pm 0,2$ мм	0	0

На основании результатов обработки по действующему технологическому процессу, учитывая полученные отклонения по вариантам (табл.

3), рационально построить обработку с одной установкой заготовки что имеет ряд преимуществ:

- за счёт одного установа у детали будут отсутствовать отклонения, связанные с погрешностью базирования;
- деталь необходимо установить только один раз, что уменьшает штучное время в целом;
- отсутствует потребность выполнения исследований на контрольно-измерительной машине.

Список литературы

1. Лукина С. В., Манаенков И. В. Повышение эффективности многокоординатного фрезерования пространственно-сложных поверхностей на станках с ЧПУ //Известия Московского государственного технического университета МАМИ. 2012. Т. 2. №. 2. С. 124-128.
2. Королёв Р. Д., Бокова Л. Г., Бочкарёв П. Ю. Анализ возможности выполнения принципа единства и постоянства баз при оценке технологичности детали //Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации. 2021. С. 154-157.
3. Камшилина И. А. Переналаживаемое зажимное приспособление для производства изделий ркт на фрезерных обрабатывающих центрах //XLIV Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика СП Королёва и других выдающихся отечественных ученых-пионеров освоения космического пространства. 2020. С. 546-548.
4. Мелентьев З. Р., Трусов А. Н. Особенности, технологические возможности и перспективы развития обрабатывающих центров в России и за рубежом //Россия молодая. 2022. С. 31708.1-31708.6.

УДК 621.91

ПРОЦЕСС СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОТКЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Адмакин М.А., к.т.н., доцент; Халимоненко А.Д., к.т.н., доцент;
Голец Е.А., студент; Турчина В.С., студент; Успенская В.Д., студент
Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II

Работа посвящена исследованию процесса стружкообразования при высокоскоростной обработке алюминиевых сплавов многолезвийным инструментом. По результатам анализа деформационных процессов при высокоскоростной обработке были определены параметры стружки с постоянными значениями подачи на зуб фрезы и параметры стружки при фрезеровании с постоянной минутной подачей.

Ключевые слова: фрезерование; высокоскоростная обработка; алюминиевые сплавы; минутная подача; подача на зуб; усадка стружки

CHIP FORMING PROCESS IN HIGH-SPEED MILLING OF ALUMINUM ALLOYS

Admakin M.A., Khalimonenko A.D., Golets E.A., Turchina V.S., Uspenskaya V.D.

The work is devoted to the study of the chip formation process during high-speed processing of aluminum alloys with a multi-blade tool. Based on the results of the analysis of deformation processes during high-speed processing, the chip parameters with constant feed values to the milling tooth and the chip parameters during milling with constant minute feed were determined.

Keywords: milling; high-speed machining; aluminum alloys; minute feed; feed per tooth; chip shrinkage

Горные машины представляют собой категорию оборудования, которое предназначено для функционирования в условиях больших нагрузок, вызванных специфическими условиями эксплуатации. К таким условиям относятся низкие температуры, высокая влажность, агрессивные рабочие среды, повышенная запыленность и т.д. Для обеспечения высокой надежности работы горных машин, работающих в сложных условиях [1, 2], особое внимание следует уделить технологиям их производства. Производство современных горных машин требует применения современных методов обработки, повышающих качество изготовления и надежность конструкции. К таким методам можно отнести высокоскоростную обработку (ВСО), которая позволяет не только обеспечить высокое качество изготовления, но и в несколько раз повысить производительность производства [3].

Стоит отметить, что высокоскоростная обработка хорошо рассмотрена с точки зрения сил и мощности резания, износа режущего инструмента и кинематики его движения, но практически не изученными остаются деформационные процессы при образовании стружки. Традиционным критерием данного процесса является коэффициент усадки стружки K , характеризующий процесс деформации материала, но не отражающий их полностью. Для восполнения данного пробела предлагается дополнительно рассмотреть такие параметры, как угол текстуры стружки Ψ , относительный сдвиг при резании ε , скорость деформации относительного сдвига $\dot{\varepsilon}$ и угол наклона плоскости сдвига Φ . Дополнительно предлагается рассмотреть

скорость перемещения материала в плоскости сдвига V_{ϕ} , скорость движения стружки $V_{\text{стр}}$ совместно со скоростью резания $V_{\text{рез}}$.

Для исследования деформационных процессов при высокоскоростной обработке было выбрано фрезерование. Материал обрабатываемой заготовки – деформируемый алюминиевый сплав, широко используемый для деталей горных машин [4, 5], технология обработки которого хорошо известна и изучена. В качестве исходных данных были использованы результаты ранее проведенных опытов [3] и рекомендации, представленные в ряде отечественных [6, 7] и зарубежных источников [8, 9].

В первой серии опытов $V_{\text{рез}}$ изменялась в пределах 300...2000 м/мин с постоянной подачей на зуб S_z с повышением минутной подачи $S_{\text{мин}}$. Во второй серии опытов $V_{\text{рез}}$ также изменялась в пределах 300...2000 м/мин, но с постоянной $S_{\text{мин}}$ при снижении S_z [29]. По результатам проведенных опытов выполнялось измерение толщины стружки, а остальные параметры, характеризующие деформацию, определялись расчётным путём. Усадка стружки определялась как среднее арифметическое после десяти измерений. Режимы резания и толщина стружки для первой и второй серий опытов приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Режимы резания и толщина стружки при фрезеровании с постоянной подачей на зуб

№	скорость резания $V_{\text{рез}}$, м/мин	частота вращения шпинделя n , мин ⁻¹	минутная подача $S_{\text{мин}}$, мм/мин	глубина резания t , мм	подача на зуб S_z , мм/зуб	толщина стружки a_s , мм
1	300	1911	1146	1	0,15	0,197
2	1500	9554	5732			0,210
3	2000	12739	7643			0,202

Таблица 2

Режимы резания и толщина стружки при фрезеровании с постоянной минутной подачей

№	скорость резания $V_{\text{рез}}$, м/мин	частота вращения шпинделя n , мин ⁻¹	подача на зуб S_z , мм/зуб	глубина резания t , мм	минутная подача $S_{\text{мин}}$, мм/мин	толщина стружки a_s , мм
1	300	1911	0,183	1	1400	0,208
2	1500	9554	0,037			0,074
3	2000	12739	0,027			0,061

При анализе данных, представленных в **таблицах 1 и 2**, можно отметить, что с повышением скорости резания при постоянной подаче на зуб толщина стружки, ее размеры и форма практически не изменяются, а с увеличением скорости резания при неизменной минутной подаче и с уменьшением подачи на зуб размер и толщина стружки уменьшается.

Результаты расчета параметров образования стружки для различных скоростей резания в первой серии опытов приведены в таблице 3. Параметры подачи на зуб S_z и толщины среза a для всех скоростей оставались неизменными:

$$S_z = 0,15 \text{ мм/зуб}, a = 0,15 \cdot \sin 45^\circ = 0,106 = 1,06 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Таблица 3

Параметры деформационных процессов при фрезеровании с постоянной подачей на зуб (ВСО начинается со скорости резания

$$V_{\text{рез}} = 1500 \text{ м/мин})$$

№	скорость резания $V_{\text{рез}}$, м/мин	угол наклона плоскости сдвига Φ , град	относительный сдвиг при резании ϵ	скорость перемещения стружки $V_{\text{стр}}$	скорость перемещения материала в плоскости сдвига $V_{\text{ф}}$, м/мин	скорость деформации относительного сдвига $\dot{\epsilon}$, с^{-1}	угол текстуры стружки Ψ , град	толщина стружки a_c , 10^{-4}м	коэффициент усадки стружки K
1	300	31,8	1,82	161,5	288,0	43470	19,5	1,97	1,858
2	1500	29,9	1,91	758,6	1430,8	214581	18,9	2,10	1,977
3	2000	31,0	1,86	1049,0	1914,5	288150	19,3	2,02	1,907

Анализируя данные из таблицы 3, можно сделать вывод, что при неизменной подаче на зуб S_z с увеличением скорости резания угол скалывания Φ и угол текстуры стружки Ψ практически не меняются, что говорит об идентичности деформационных процессов. Вместе с тем увеличивается скорость деформации относительного сдвига $\dot{\epsilon}$ прямо пропорционально увеличению скорости резания.

Результаты расчета параметров образования стружки для различных скоростей резания второй серии опытов при постоянной минутной подаче приведены в таблице 4. Толщина стружки a_c определена как средняя величина, полученная по результатам десяти измерений.

Таблица 4

Параметры деформационных процессов при фрезеровании с постоянной минутной подачей. (ВСО начинается со скорости резания $V_{\text{рез}} = 1500 \text{ м/мин}$)

№	скорость резания $V_{\text{рез}}$, м/мин	подача на зуб S_z , мм/зуб	толщина среза a , 10^{-4}м	угол наклона плоскости сдвига Φ , град	относительный сдвиг при резании ϵ	скорость перемещения стружки $V_{\text{стр}}$	скорость перемещения материала в плоскости сдвига $V_{\text{ф}}$, м/мин	скорость деформации относительного сдвига $\dot{\epsilon}$, с^{-1}	угол текстуры стружки Ψ , град	толщина стружки a_c , 10^{-4}м	коэффициент усадки стружки K
1	300	0,183	1,295	36,9	1,60	186,5	287,9	35546	21,1	2,08	1,608
2	1500	0,037	0,259	20,6	2,64	527,9	1391,2	830175	15,4	0,74	2,841
3	2000	0,027	0,194	18,6	2,91	639,1	1857,6	1480189	14,3	0,61	3,130

Анализируя данные, представленные в таблице 4, можно сделать вывод, что при одновременном повышении скорости резания и снижении подачи на зуб S_z снижаются угол скалывания Φ и угол текстуры Ψ , то есть процесс изменения текстуры материала протекает в большей близости к плоскости скалывания. Деформационные процессы, которые характеризуются углом скалывания Φ и скоростью деформации относительного сдвига $\dot{\epsilon}$ протекают гораздо раньше и быстрее. Скорость деформации относительного сдвига $\dot{\epsilon}$ возрастает в разы быстрее, чем скорость резания.

Выводы

- коэффициент усадки стружки практически не меняется при высокоскоростном фрезеровании с постоянной подачей на зуб, т.е. степень де-

формации алюминиевого сплава при высокоскоростном фрезеровании фактически не изменилась;

- при снижении подачи на зуб и увеличении скорости резания уменьшается размер стружки и увеличивается усадка стружки, что может улучшить отвод стружки из зоны резания в условиях автоматизированного производства;

- скорость относительной деформации увеличивается при увеличении скорости и одновременном уменьшении подачи на зуб (толщины среза).

Список литературы

1. Хамидов О.У., Шибанов Д.А., Шишкин П.В., Колпаков В.О. Эффективность применения экскаваторов на карьерах Узбекистана // Горная промышленность. 2024. №5. С. 135-142. DOI: 10.30686/1609-9192-2024-5-135-142.
2. Большунов А.В., Васильев Д.А., Дмитриев А.Н., Игнатьев С.А., Кадочников В.Г., Крикун Н.С., Сербин Д.В., Шадрин В.С. Результаты комплексных экспериментальных исследований на станции Восток в Антарктиде // Записки Горного института. 2023. Т. 263. С. 724-741.
3. Халимоненко А.Д., Шмакова Ю.Р., Адмакина О.Н., Куфаев В.Г. Особенности высокоскоростного торцевого фрезерования деформируемых алюминиевых сплавов // Цветные металлы. 2024. № 6, С. 81-88. DOI: 10.17580/tsm.2024.06.10.
4. Сербин Д.В., Дмитриев А.Н. Экспериментальные исследования теплового способа бурения плавлением скважины в ледовом массиве с одновременным контролируемым расширением ее диаметра // Записки Горного института. 2022. Т. 257. С. 833-842.
5. Копосов П.В., Жуков И.А., Бойко В.С. Обзор кинематических схем дробильных машин с непрямолинейной формой щеки // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2023. №11-1. С. 102-115. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_111_0_102.
6. Патраев Е.В., Вакулин М.С., [Гордеев Ю.И.](#), [Ясинский В.Б.](#) Высокоскоростное микрофрезерование деталей из композиционных материалов и алюминиевых сплавов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2021. № 12. С. 62-72. DOI: [10.18698/0536-1044-2021-12-62-72](#).
7. Широких Э.В., Косьянова А.К. Эффективность применения СТМ для высокоскоростной обработки алюминиевых сплавов металлов // Комплексные проблемы развития науки, образования и экономики региона, 2014, Т. 2(5), С. 96-101.
8. Meng X., Lin Y., Mi S. The Research of Tool Wear Mechanism for High-Speed Milling ADC12 Aluminum Alloy Considering the Cutting Force Effect. *Materials*. 2021, Vol. 14, 1054. DOI: 10.3390/ma14051054
9. Yu F.Y., Feng M.J., Dai M.J., Sun H.J. Experimental Study on High-Speed Milling of Aluminum Alloy 2A70. *Advanced Materials Research*. 2011. Vol. 314-316, pp. 1788-1791. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.314-316.1788

УДК 621.793

АДДИТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ГОРНЫХ МАШИН

Хазин М. Л., Волегов С. А.

Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

Износ деталей является основной причиной выхода машин из строя. Для восстановления деталей горного использовали послойную лазерной наплавки. Для нанесения слоев применялись сплавы на основе никеля. Определяли прочность сцепления наплавленного слоя с поверхностью детали и трибологические свойства образцов при трении скольжения всухую. Изучение структуры проводили металлографическим анализом на электронном сканирующем микроскопе.

Ключевые слова: износостойкость, механические свойства, послойная наплавка, сталь, структура.

ADDITIVE RECOVERY TECHNOLOGY MINING MACHINE PARTS

Khazin M.L., Volegov S.A.

The wear of parts is the main reason for the failure of machines. To restore the mining parts, a layered laser surfacing was used. Nickel-based alloys were used to apply the layers. The adhesion strength of the deposited layer to the surface of the part and the tribological properties of the samples during dry sliding friction were determined. The structure was studied by metallographic analysis on an electron scanning microscope.

Keywords: wear resistance, mechanical properties, layered surfacing, steel, structure.

Причиной серьезных механических повреждений поверхностей деталей являются тяжелые условия эксплуатации горных машины [1]. В данной работе рассматривалась технология восстановления поверхности деталей лазерной послойной наплавкой на установке Optomec LENS 450. При восстановлении деталей лазерной наплавкой используют два технологических варианта: нанесение материала, из которого выполнена деталь, или использование другого материала, позволяющего улучшить физико-механические свойства поверхности [2, 3]. Преимуществом лазерной наплавкой является то, что полученные слои имеют малый коэффициент перемешивания наплавленного материала с материалом детали и минимальную зону термического влияния [4]. Известны сплавы на основе никеля, благодаря хорошим механическим характеристикам [5, 6], которые рассматривали для ремонта деталей горных машин.

Для наплавки использовали порошки сталей 38ХМА, 42ХФА и ХН45МВТЮБР на стали 38ХМА и 42ХФА. Прочность сцепления наплавленного слоя с деталью определяли с помощью универсальной разрывной машины МИМ 2-20-2 при скорости крейцкопфа 0,2 мм/с. Испытание образцов на износостойкость проводили при трении скольжения всухую на испытательной машине трения ИИ 5018 в соответствии с ГОСТ 23.21080.

Испытания на износ показали, что относительная износостойкость наплавленного слоя ХН45МВТЮБР выше, чем у 38ХМА (рис. 1). Аналогично интенсивности износа изменяется коэффициент износа от пути скольжения (рис. 2).

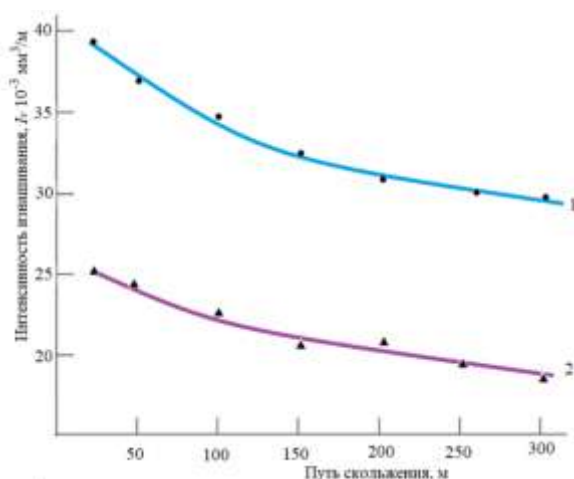


Рис. 1. Интенсивность износа от пути скольжения: 1 - 38ХМА, 2 - ХН45МВТЮБР

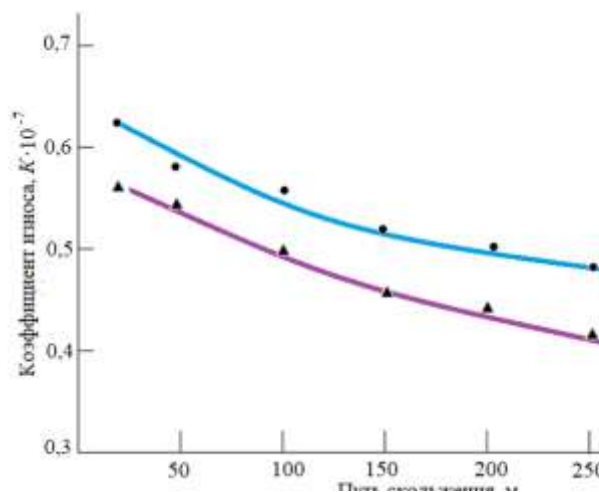


Рис. 2. Коэффициент износа от пути скольжения: 1 - 38ХМА, 2 - ХН45МВТЮБР

Величина износа наплавленного слоя 38ХМА в 1,7 раза больше, чем у наплавленного ХН45МВТЮБР.

Согласно определению силы сцепления слоя, наплавленного на поверхность детали следует, что разрушение образцов с ХН45МВТЮБР имеет вязкий характер, что связано с аустенитными никель-хромовыми легирующими элементами сплава ХН45МВТЮБР, а разрушение образцов с наплавленным слоем 38ХМА имеет хрупкий характер из-за мартенситного охрупчивания, вызванного высокой скоростью охлаждения. Среднее удлинение наплавленных слоев 38ХМА и 42ХФА составило 2,3 %, что значительно ниже, чем у наплавленного слоя ХН45МВТЮБР (14 %). Предел прочности наплавленных слоёв 38ХМА и 42ХФА также ниже, чем у ХН45МВТЮБР, что связано с неполностью расплавленными частицами порошка и значительной пористостью слоя. Несмотря на то, что на поверхности излома ХН45МВТЮБР имелись дефекты, такие как микропоры и оксиды, их влияние на свойства слоя было не таким значительным, как у 38ХМА. Из полученных результатов следует, что сила сцепления слоя из ХН45МВТЮБР, наплавленного на сталь 38ХМА (среднее значение: 645 МПа) выше, чем у слоя из 38ХМА наплавленного на сталь 38ХМА (среднее значение: 637 МПа). Сила сцепления слоя из ХН45МВТЮБР, наплавленного на сталь 42ХФА (среднее значение: 714 МПа) выше, чем у слоя из 42ХФА, наплавленного на сталь на 42ХФА (среднее значение 590 МПа). Наибольшее значение силы сцепления образца из ХН45МВТЮБР наплавленного на 38ХМА составляет 786 МПа, что ниже значения предела прочности деформируемого сплава ХН45МВТЮБР (1000 ~1200 МПа).

Из исследования можно сделать следующие выводы:

- сплав ХН45МВТЮБР обладает лучшими механическими и трибологическими свойствами по сравнению с другими материалами;
- сила сцепления композиции 38ХМА–ХН45МВТЮБР или 42ХФА–ХН45МВТЮБР выше, чем у композиции 38ХМА-38ХМА или 42ХФА–

42ХФА, что может быть связано с наличием неполностью расплавленных частиц и значительной пористостью;

износостойкость сплава 38ХМА (42ХФА) после наплавки в 1,7 раза ниже, чем у материала ХН45МВТЮБР.

Таким образом, эту технологию можно предложить в качестве перспективной для ремонта деталей горных машин

Список литературы

1. Тюрин С. И. Повышение эффективности эксплуатации горного оборудования за счет внедрения новых технологий ремонта // ГИАБ. 2016. №5. 136-148.
2. John M., Kuruveri U.B., Menezes P.L. Laser Cladding-Based Surface Modification of Carbon Steel and High-Alloy Steel for Extreme Condition Applications. Coatings. 2022. Vol. 12. p. 1444. <https://doi.org/10.3390/coatings12101444>
3. Хызов А. А., Иванов А.С., Колмакова Т. Г. Перспективы применения лазерной наплавки при восстановлении деталей сельскохозяйственной техники // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2019. № 154. С. 45-54. DOI: 10.21515/1990-4665-154-006
4. Рощин М. Н., Мишанова В. Г. Лазерная наплавка для повышения износостойкости узлов трения роботизированных систем // Мехатроника, автоматика и робототехника. 2022. № 9. С. 70-72. DOI: 10.26160/2541-8637-2022-9-70-7216
5. Jovanović M. T. Nickel, cobalt and titanium-based alloys - from aircraft vehicles to medical applications – REVIEW // Metallurgical and Materials Engineering. 2016. Vol. 22 No. 3. Pp. 205-220.
6. Karimihaghighi R., Naghizadeh M. Effect of alloying elements on aqueous corrosion of nickel-based alloys at high temperatures: A review // Materials and Corrosion. 2023. 1-10. <https://doi.org/10.1002/maco.202213705>

УДК 621.91

ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ И КОНСТРУИРОВАНИИ ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Чуйков С.С., к.т.н., Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень,
795348@mail.ru

Рассматриваются актуальные проблемы материаловедения, производства и конструирования в современном машиностроении. Особое внимание уделено вопросам разработки новых материалов, технологий их обработки, а также внедрения цифровых методов проектирования. Включены примеры применения инновационных решений в промышленности, анализ их преимуществ и недостатков. Предложены перспективные направления развития, направленные на повышение эффективности, экологичности и устойчивости отрасли.

Ключевые слова: материаловедение, машиностроение, инновационные материалы, цифровое проектирование, аддитивное производство, производственные технологии, экологичность.

CHALLENGES AND SOLUTIONS IN MATERIALS SCIENCE AND DESIGN FOR MECHANICAL ENGINEERING

Chuikov S.S.

This paper examines the pressing challenges in materials science, manufacturing, and design within modern mechanical engineering. Special attention is given to the development of new materials, processing technologies, and the integration of digital design methods. Examples of innovative solutions in the industry are included, along with an analysis of their advantages and disadvantages. Prospective development directions aimed at enhancing efficiency, sustainability, and eco-friendliness in the field are proposed.

Keywords: materials science, mechanical engineering, innovative materials, digital design, additive manufacturing, production technologies, sustainability

Введение Машиностроение – одна из ключевых отраслей промышленности, определяющая развитие других секторов экономики, включая транспорт, энергетику и строительство. В современных условиях, характеризующихся высокой конкуренцией, ужесточением экологических требований и ограниченностью природных ресурсов, возникают новые вызовы, требующие инновационных подходов к разработке материалов, технологий производства и конструирования.

Актуальность темы подтверждается ростом интереса к таким направлениям, как разработка высокопрочных и лёгких материалов, внедрение энергоэффективных технологий обработки, а также цифровизация всех этапов проектирования и производства. Примером может служить внедрение композитных материалов в авиа- и автомобилестроении, где требования к весу и прочности особенно критичны.

Современные проблемы материаловедения в машиностроении, ограничения существующих материалов

Одна из ключевых проблем материаловедения – это ограниченность возможностей традиционных материалов, таких как сталь, алюминий и их сплавы. Несмотря на их широкое распространение, они часто не соответствуют требованиям новых технологий. Например, в авиации и космической отрасли требуется сочетание высокой прочности и лёгкости, что делает использование композитных материалов более предпочтительным. Однако высокая стоимость производства и сложности в переработке таких

материалов остаются серьёзным препятствием для их массового внедрения.

Примером может служить применение углепластиков в производстве самолётов Boeing 787 Dreamliner, где доля композитных материалов составляет около 50 %. Это позволило снизить вес конструкции и улучшить топливную эффективность, но привело к удорожанию производства.

Проблемы переработки и экологичность

Вопросы утилизации и переработки материалов также играют важную роль. Традиционные материалы, такие как сталь и алюминий, относительно легко перерабатываются, однако современные композиты и сплавы часто сложны для вторичной обработки. Это увеличивает экологическую нагрузку и требует разработки новых решений, таких как биокompозиты или материалы на основе возобновляемых ресурсов.

Примером экологически ориентированного подхода является разработка полимеров на основе растительных масел, которые обладают достаточной прочностью и при этом легко утилизируются.

Новые подходы к производству и конструированию

Технологии аддитивного производства, или 3D-печати, представляют собой революционный подход в машиностроении. Они позволяют создавать детали сложной геометрии, минимизировать количество отходов и сокращать время на изготовление прототипов.

Например, компания General Electric активно внедряет 3D-печать для производства лопаток турбин и топливных форсунок. Использование металлопорошков позволяет создавать компоненты с улучшенными характеристиками и снижать их вес. Однако такие технологии требуют дорогостоящего оборудования и специализированных материалов, что ограничивает их распространение.

Дополнительно, 3D-печать находит применение в изготовлении запасных частей для техники, особенно в удалённых регионах, где логистика затруднена. Это снижает время простоя оборудования и экономит ресурсы.

Цифровое проектирование и искусственный интеллект

Современные методы проектирования всё чаще опираются на цифровые технологии, такие как CAD (computer-aided design) и CAE (computer-aided engineering). В сочетании с искусственным интеллектом (ИИ) эти системы позволяют не только моделировать поведение материалов и конструкций, но и предсказывать возможные проблемы на этапе проектирования.

Примером служит использование цифровых двойников, которые позволяют в реальном времени отслеживать состояние машин и прогнозировать их износ. Это активно применяется в автомобилестроении и энергетике для повышения надёжности оборудования.

Дополнительно, ИИ используется для оптимизации конструкций. Например, алгоритмы топологической оптимизации помогают создавать лёг-

кие и прочные компоненты, которые ранее было невозможно спроектировать традиционными методами.

Инновационные технологии обработки

Лазерные и плазменные технологии занимают важное место в современных методах обработки материалов. Например, лазерная сварка и закалка обеспечивают высокую точность и качество соединений, что особенно важно для производства высоконагруженных деталей. Плазменная резка, в свою очередь, позволяет эффективно работать с металлами большой толщины, снижая затраты времени и ресурсов.

Примером является использование лазерной обработки при производстве медицинского оборудования, где точность и стерильность играют ключевую роль.

Дополнительно, такие технологии, как электрохимическая обработка, находят применение в изготовлении сложных деталей, требующих высокой точности и минимального термического воздействия. Это особенно важно в авиастроении и энергетике.

Перспективы развития

Перспективным направлением является создание наноматериалов и сверхлёгких сплавов, которые смогут удовлетворять требованиям современных технологий. Например, графен, обладающий уникальными механическими и электрическими свойствами, активно исследуется для применения в электронике и машиностроении.

Ещё одним перспективным направлением является разработка биокomпозитов, которые могут быть использованы в автомобилестроении для создания панелей и других конструктивных элементов. Такие материалы не только снижают вес изделий, но и уменьшают их экологический след.

Кроме того, активно исследуются сплавы на основе алюминия и магния с добавлением редкоземельных элементов, которые обладают высокой прочностью и коррозионной стойкостью. Такие материалы находят применение в авиастроении и космической технике.

Устойчивое производство

Внедрение экологически чистых технологий, таких как использование водорода в металлургии или переход на возобновляемые источники энергии, становится всё более актуальным. Например, компания ArcelorMittal разрабатывает технологии производства стали с минимальным выбросом углекислого газа, что открывает новые горизонты для устойчивого развития.

Ещё одним примером является инициатива компании Tesla, которая активно внедряет замкнутые циклы переработки аккумуляторов. Используемые в электромобилях литий-ионные батареи разбираются на составляющие, такие как никель, кобальт и литий, которые затем используются для производства новых батарей. Это позволяет существенно снизить нагрузку на природные ресурсы.

Кроме того, в строительной технике активно применяется технология вторичного использования материалов. Например, дроблёный бетон из старых зданий перерабатывается и используется для создания дорожных покрытий и оснований новых конструкций. Такой подход не только уменьшает количество отходов, но и снижает затраты на добычу природных материалов.

Ещё один перспективный проект – использование биогаза, полученного из органических отходов, в качестве источника энергии для промышленных предприятий. Это снижает углеродный след производства и способствует решению проблемы утилизации отходов. Примером может служить предприятие в Германии, где биогаз используется для питания металлургических печей, обеспечивая экономию ископаемого топлива.

В автомобильной промышленности компании, такие как BMW и Volvo, внедряют зелёные технологии на всех этапах производства, что включает использование переработанных материалов для интерьера автомобилей, сокращение водопотребления в процессе производства и переход на возобновляемые источники энергии для питания заводов.

Заключение Современное машиностроение сталкивается с множеством вызовов, требующих комплексного подхода к разработке материалов, технологий и методов проектирования. Инновации в этих областях позволят повысить конкурентоспособность отрасли и решить актуальные экологические проблемы. Продолжение исследований, развитие технологий аддитивного производства, внедрение цифровых методов проектирования и создание экологически чистых материалов станут основой для устойчивого роста машиностроения в будущем.

Долгосрочная перспектива включает интеграцию новых технологий, таких как квантовые вычисления для моделирования материалов, и более активное использование интернета вещей для управления производственными процессами. Эти достижения откроют новые горизонты для машиностроения, делая его ещё более эффективным и экологически безопасным.

Список литературы

1. Иванов, М. Н., Финогенов, В. А. Детали машин / М. Н. Иванов, В. А. Финогенов. — Москва: Юрайт, 2014. — 456 с.
2. Иосилевич, Г. Б., Лебедев, П. А., Стреляев, В. С. Прикладная механика / Г. Б. Иосилевич, П. А. Лебедев, В. С. Стреляев. — Москва: Машиностроение, 2012. — 398 с.
3. Дунаев, П. Ф., Леликов, О. П. Детали машин. Курсовое проектирование / П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов. — Москва: Машиностроение, 2013. — 320 с.
4. Андреев, В. И., Павлова, И. В. Детали машин и основы конструирования. Курсовое проектирование / В. И. Андреев, И. В. Павлова. — Санкт-Петербург: Лань, 2013. — 286 с.
5. Жуков, К. П., Гуревич, Ю. Е. Проектирование деталей и узлов машин / К. П. Жуков, Ю. Е. Гуревич. — Москва: Машиностроение, 2014. — 512 с.
6. Анурьев, В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т. / В. И. Анурьев. — Москва: Машиностроение, 2013. — Т. 1. — 724 с.

7. Адашкин, А. М., Климов, В. Н., Онегина, А. К., Седов, Ю. Е. Материаловедение в машиностроении / А. М. Адашкин, В. Н. Климов, А. К. Онегина, Ю. Е. Седов. — Люберцы: Юрайт, 2016. — 380 с.
8. Клименков, С. С. Инновационные технологии в машиностроении / С. С. Клименков. — Минск: Белорусская наука, 2021. — 340 с.
9. Мухин, В. С. Современные научные, методологические и производственные проблемы высокотехнологического машиностроения (на примере авиадвигателестроения) / В. С. Мухин. — Уфа: Уфимский университет, 2015. — 410 с.
10. Гецов, Л. Б. Материалы и прочность деталей газовых турбин / Л. Б. Гецов. — Санкт-Петербург: Машиностроение, 1996. — 284 с.

РЕМОНТ, СЕРВИСНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И ДИАГНОСТИКА ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

***Чтобы óжил экскаватор,
Чтоб ðробилка ожилá,
Должен мастер-реставратор
В их наведаться тела!
Чтоб они служили долго,
Без напряжения и возни –
Новых свойств и технологий
Добавляют в них НИИ.***

Доц. Павел Жиганов

УДК 622.002.05

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕМОНТНОЙ СЛУЖБЫ ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНЧЕСКОГО УЧЕТА

Андреева Л.И.¹, гл. науч. сотр., д-р техн. наук

¹Челябинский филиал Института горного дела УрО РАН, г. Челябинск, Россия

Рассмотрены пути повышения качества планирования ресурсов в ремонтном производстве горнодобывающих предприятий. Выявлены основные причины, формирующие высокие финансовые издержки ремонтной службы. Предложен методический подход, позволяющий оценить эффективность использования ресурсов. Обоснована необходимость стандартизации рабочих процессов для повышения эффективности планирования ремонтного производства, в частности, рационального распределения ресурсов.

Ключевые слова: ремонтное производство, эффективность использования ресурсов, планирование, эксплуатация, ремонт, техническое обслуживание, технологический процесс, информационное обеспечение.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE REPAIR SERVICE BY IMPROVING THE MANAGEMENT ACCOUNTING SYSTEM

Andreeva L.I.

The article is about improving the quality of resources planning procedure in remedial maintenance on mining companies. The main reasons for forming the high maintenance expenses of a repair service were identified. The methodological approach is described to assess the efficiency of resources use. The necessity of standardization of work processes for improving effectiveness of planning repair production, in particular, rational allocation of resources.

Keywords: repair production, resource use efficiency, planning procedure, repair, maintenance, workflow, information support.

Актуальность задачи обслуживания и ремонта горной техники обусловлена значительными и непрерывно растущими абсолютными и относительными затратами трудовых, материальных и финансовых ресурсов, что отрицательно влияет на себестоимость конечной продукции, и, как следствие, ее конкурентоспособность. Это вызвано рядом причин:

- несовершенством организационной структуры системы технического обслуживания и ремонта (ТОиР), связанным с выполнением собственными силами ремонтного производства (РП) практически всех бизнес-процессов (функций);
- низким технологическим уровнем ремонтной базы;
- отставанием в области методического обеспечения бизнес-процессов;
- низкой квалификацией и недостаточным или избыточным количеством ремонтного персонала;
- слабым уровнем информационного обеспечения.

Задача анализа эффективности ремонтного производства осложняется высокой степенью неопределенности информации, которая обусловлена особенностями горных работ, субъективностью информации из-за сложности её получения и, как правило, отсутствием базы данных для анализа за длительный период времени [1].

Назрела необходимость проведения на горнодобывающих предприятиях оценки эффективности использования ресурсов в ремонтном производстве, позволяющей определить уровень соответствия технологических процессов и организации производства критериям и стандартам.

Оценить эффективность использования ресурсов предложено по следующим направлениям:

- организационно-техническая система ремонтного производства;
- использование парка горнотранспортного оборудования;
- технология ремонтного производства;
- структура и эффективность использования ремонтного персонала;
- взаимодействие структурных подразделений;
- влияние режимов и условий эксплуатации, технологии и организации ремонта на эффективность использования горной техники;
- информационное обеспечение.

В результате проведения на горнодобывающих предприятиях анкетирования руководителей и специалистов было установлено, что на эффективность ремонтного производства влияют факторы, как со стороны эксплуатации, так и со стороны ремонта горной техники (рис. 1).

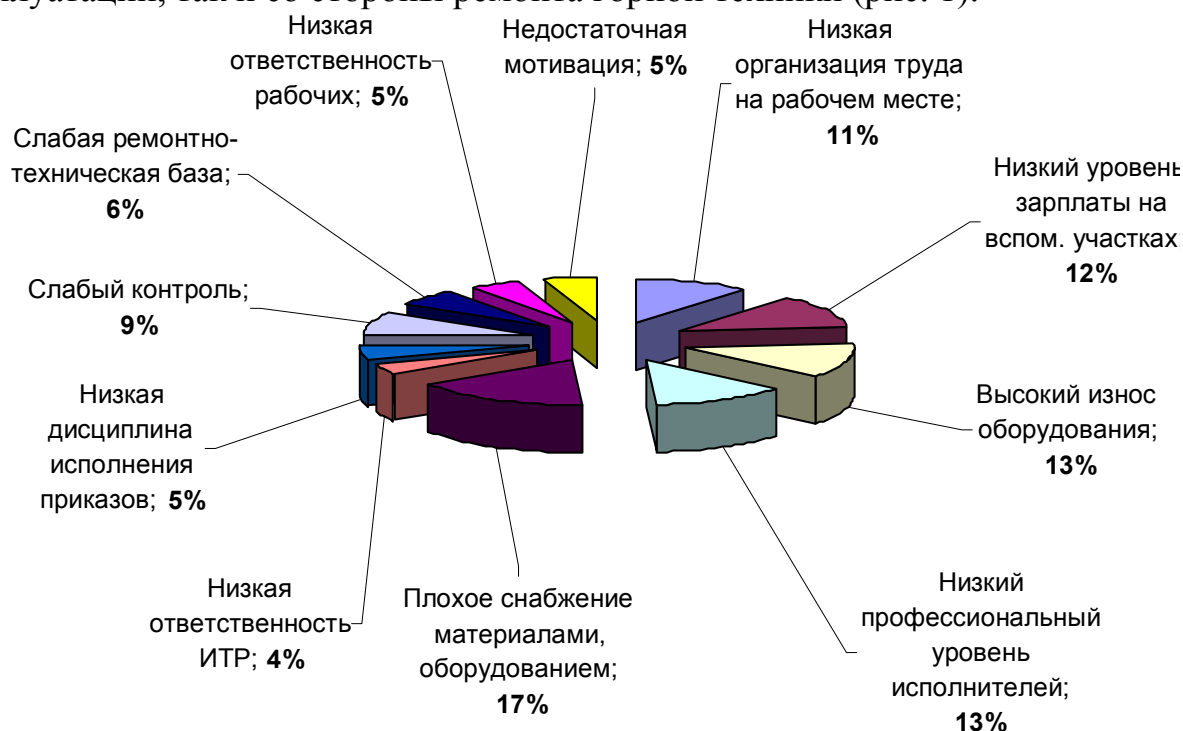


Рис. 1. Результаты анкетирования руководителей и специалистов по определению факторов, влияющих на структуру затрат ремонтного производства

Анализ распределения времени на планирование, подготовку и проведение ремонтных работ в подразделениях показал: по сравнению со значениями, рекомендуемыми системой ППР, на планирование ремонта по факту расходуется времени в 1,3-3,8 раза больше, на подготовку – в 1,5-2,0 раза меньше, на проведение ремонта отклонения составляют 1,5-3,0 раза.

Тем не менее, специалисты ремонтного производства считают необходимым увеличить долю времени на проведение ремонта за счет сокращения доли времени, отведенного на его подготовку. Практика показывает, что такое перераспределение времени приведет к сокращению межремонтного периода и, соответственно, к значительному перерасходу всех видов ресурсов.

Действующая система учета годового календарного фонда времени сформирована таким образом, что существует возможность «размывания» потерь времени и ресурсов по процессам и операциям – как при эксплуатации, так и при ремонтном обслуживании горной техники [2].

Такая система учета затрат затрудняет реальную оценку, искажает их величину, что вынуждает руководителей подразделений принимать необоснованные решения с последующими негативными последствиями.

Формирование системы учета в ремонтном производстве должно быть основано на использовании методик планирования всех видов деятельности в системе ремонта, учете затрат по месту их возникновения, что позволит контролировать факт выполнения работ (дата начала и дата окончания, трудовые, материальные ресурсы) их стоимость и сравнивать их с плановыми значениями.

Оценка стоимости 1 маш.-ч. ремонта и эксплуатации горной техники и оборудования в подразделениях одного из горнодобывающих предприятий Сибири показала значительный разброс значений: на ремонт – 1,5...420 у.е.; на эксплуатацию – 0,5...110 у.е.

Такой разброс значений стоимости ремонта и эксплуатации обусловлен реализуемой стратегией ремонтного производства: необоснованной минимизацией затрат, сложившимся приоритетом распределения ресурсов между основным и ремонтным производством, отсутствием мотивации труда ремонтного персонала.

Одним из организационных методов, позволяющих регламентировать процесс рационального расхода ресурсов, является стандартизация рабочих процессов.

Объектом стандартизации рабочих процессов является деятельность ремонтного подразделения горнодобывающего предприятия, включающая технологические операции и потребляемые ресурсы. В соответствии с этим стандарт рабочего процесса включает не только требования к показателям воспроизводства (устанавливает верхние и нижние пороговые значения показателя, выход за рамки которых влечет за собой определенные санкции), но и требования к его безотказности, качеству и экономичности.

Для оценки качества ресурсного обеспечения процессов ремонта горной техники предложен комплекс критериев. В него включены коэффициенты, характеризующие уровень обеспеченности процесса необходимыми ресурсами:

- а) Коэффициент информационного обеспечения $K_{инф}$:

$$K_{инф} = \frac{n_{исп}}{n_{общ}},$$

где $n_{исп}$ – количество использованной информации; $n_{общ}$ – количество общей информации.

б) Коэффициент использования станков и оборудования $K_{исп}^{об}$:

$$K_{исп}^{об} = \frac{t_{пр}^{об}}{t_{общ}^{об}},$$

где $t_{пр}^{об}$ – производительное время работы станков и оборудования; $t_{общ}^{об}$ – общее время работы оборудования.

в) Коэффициент механизации операций $K_{мех}$:

$$K_{мех} = \frac{t_{мех}}{t_{общ}},$$

где $t_{мех}$ – время со средствами механизации; $t_{общ}$ – общее время выполнения ремонтных работ.

г) Коэффициент использования времени персоналом $K_{исп}$:

$$K_{исп} = \frac{t_{пр}^n}{t_{общ}^n},$$

где $t_{пр}^n$ – производительное время работы персонала; $t_{общ}^n$ – общее время работы персонала.

Планирование ремонтного производства должно предусматривать: совершенствование всех план-графиков (недельных, месячных, годовых, перспективных) ремонта и технического обслуживания по каждому производственному участку, цеху, корпусу, а также по предприятию (объединению) в целом, обеспечение компетентности, непрерывности и полной согласованности планов ремонта; совершенствование и дифференцирование норм и нормативной базы планирования по всем видам ремонтных работ; непрерывное обеспечение систем учета и анализа состояния эксплуатируемого оборудования; совершенствование системы плановой, учетной и отчетной форм документации и приведение их к единой информационной базе планирования; применение обезличенного метода ремонта (агрегатно-узловой метод); широкое использование экономико-математических методов для планирования, нормирования и анализа ремонта оборудования.

Для решений этих задач используется сетевой метод планирования и управления (СПУ). Графическим выражением сетевой модели ремонта является сетевой график. Метод дает возможность зафиксировать взаимосвязь выполняемых ремонтных работ, рассчитать резервы времени и наметить пути их рационального использования. Так, составление типовых сетевых графиков для экскаваторов ЭКГ-12,5 и РН-2300 показало, что трудоемкость плановых ремонтов может быть снижена в 1,5-2 раза, а продолжи-

тельность — в 4-6 раз при одновременном повышении качества ремонта (рис. 2).



Фактически: продолжительность ремонта 6 дней (144 маш.-ч.)

из них $144/2=72$ маш.-ч. ночных и 72 маш.-ч. ремонтных.

$\Sigma_{\text{трудозатрат}} = 11,5 \cdot 72 = 828$ чел. ч. Всего 12 человек.

Планово: продолжительность ремонта 11,5 часов (1 смена)

$\Sigma_{\text{трудозатрат}} = 126$ чел. ч. Всего 11 человек.

Рис. 2. Типовой график выполнения ремонтного обслуживания экскаватора РН-2300 (1 см., 12 час.) в АО «Соколовско-Сарбайское горное производственное объединение»

Одним из условий перехода к сетевому методу планирования ремонтных работ на горнодобывающем предприятии является применение агрегатно-узлового метода (АУМ) ремонта, который чаще всего используется при аварийных остановках экскаваторов. Расчет косвенного эффекта от применения АУМ ремонта произведен для железорудного предприятия в Республике Казахстан (таблица 1).

Формирование агрегатно-узлового метода ремонта на предприятии позволило сократить нефункциональное время в плановых ремонтах на 20 %, в ремонтах восстановительных (аварийных) на 50 % и, тем самым, добыть дополнительно 1926,7 тыс. т руды.

Таким образом, стандартизация технологических процессов ремонта, применение сетевой модели планирования в сочетании с агрегатно-узловым методом восстановления потребительских свойств машины позволяет охватить все стадии комплекса работ по организации, планированию и управлению процессом ремонта, собственно ремонт и сдачу отремонтированного объекта в эксплуатацию.

Таблица 1

Расчет косвенного эффекта (компенсация) от применения АУМ

Показатель	Расчетное значение
Простои в ремонтах, ч/год: планово-предупредительные; аварийные	22736 2244
Потери горной массы за время простоев, тыс.м ³ /год	15537,6
Потери полезного ископаемого (руды), тыс.т/год	1926,7
Убытки, млн. руб./год	145,3
Компенсация убытков по результатам АУМ, млн. руб./год	81,3

Позволяет выбрать рациональную технологическую последовательность операций ремонта, эффективно планировать трудовые, материальные и финансовые ресурсы.

Список литературы

1. 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.
2. Андреева, Л.И. и др. Показатели эффективности использования горно-транспортного оборудования /Л.И. Андреева, К.О. Хан //Чтения памяти В.Р. Кубачека: Сб. трудов X Междунар. науч.-техн. конф. 19-20 апреля 2012 г. – Екатеринбург, 2012. – С. 336-340.

УДК 622.002.05

СТАНДАРТИЗАЦИЯ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ КАК МЕТОД ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ В РЕМОНТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Андреева Л.И. ¹ гл. науч. сотр., д.т.н.

¹Челябинский филиал Института горного дела УрО РАН, г. Челябинск, Россия

Выполнен анализ трудозатрат на проведение технологического процесса ремонта горной техники. Предложена блок-схема формирования стандарта ремонтного обслуживания горных машин, позволяющая регламентировать процедуру ремонта в части ресурсопотребления и прогнозирования результата. Показано, что при повышении уровня взаимного соответствия технологических и организационных регламентов возможно достижение максимальной результативности использования ресурсов и, соответственно, резервов производства.

Ключевые слова: стандарты, ремонтный персонал, оборудование, техническое обслуживание, ремонт, горные машины, технологический процесс, стандартизация процессов, резервы, эффективность, организационно-технологические регламенты.

STANDARDIZATION OF WORK PROCESSES AS A METHOD ENSURING EFFECTIVE USE RESOURCES IN REPAIR PRODUCTION

Andreeva L.I.

Labor expenditures for conducting the repair process of mining equipment were analyzed. The block diagram of formation standard repair and maintenance of mining machines, suggested by the author, allows to regulate the procedure of repair in terms of resources consumption and forecasting results. It is shown that it is possible to achieve maximum effectiveness, use of resources and, accordingly, reserves production via an increasing level of compatibility of technological and organizational regulations.

Keywords: standards, maintenance personnel, equipment, maintenance, repair, mining machines, workflow, standardization of processes, resources, efficiency, organizational and technological regulations.

Одним из организационных методов эффективного функционирования ремонтной службы горнодобывающего предприятия (ГДП) является стандартизация рабочих процессов.

Отсутствие стандартов и ситуационное реагирование на возникающие отказы оборудования обуславливают прямое руководство ремонтными работами и предопределяют нерациональный расход ресурсов, нестабильную и малоэффективную работу системы с технической эксплуатацией горной техники. Для выхода системы обеспечения работоспособности оборудования из нестабильного и неэффективного состояния требуется стандартизация технологических операций и процессов, средств механизации и системы оплаты труда, а также надежного информационного обеспечения.

Разработка стандартов производится с учетом горно-геологических условий; технических возможностей оборудования; технической взаимосвязки отдельных единиц оборудования в едином комплексе; организации системы ремонтов; детальной разработки и описания технологических операций, в том числе связанных с охраной труда и промышленной безопасностью.

Переход к работе по стандартам не требует дополнительных инвестиций. Наоборот, сокращение непроизводительных затрат, обусловленных

недостаточным качеством планирования и организации производства, позволяет направить значительную часть высвободившихся средств на техническое перевооружение и технологическое обновление производства, а также, что особенно важно, на мотивацию производственного персонала и менеджмента предприятия к безопасному и эффективному труду [1].

Объектом стандартизации рабочих процессов является деятельность ремонтного производства (РП), включающая технологические операции технического обслуживания и ремонта горных машин, а также потребляемые ресурсы.

В зависимости от ритмичности функционирования рабочего процесса определяется уровень его стандартизации. Стандарты задаются по уровню производительного использования оборудования, инструмента, оснастки; уровню производительного использования рабочего времени ремонтного персонала и уровню производительного использования ресурсов, вовлекаемых в процесс ТО и ремонта, и являются основанием для определения эффективности функционирования ремонтной службы.

Стандарт рабочего места ремонтника представляет собой совокупность рабочих инструкций, содержащих описание действий конкретного исполнителя (группы исполнителей) при выполнении технологических операций (рис. 1).

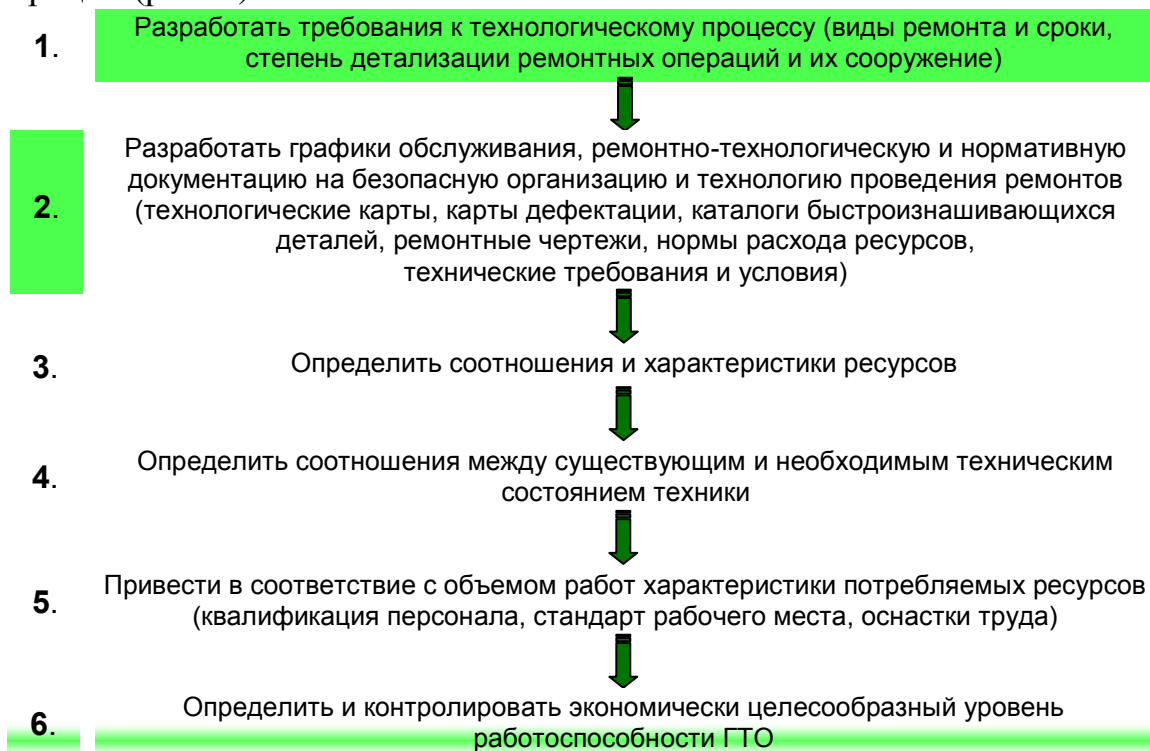


Рис. 1. Блок-схема формирования стандарта процесса ремонтного и технического обслуживания горной техники и оборудования

Для каждого вида работ составляется регламент технологических операций, включающих затраты труда на их выполнение, параметры технологического процесса и особые условия выполнения работ; за каждой технологической операцией закрепляется лицо, ответственное за ее выполнение в соответствии с регламентом [2].

На горнодобывающих предприятиях выявлены резервы, позволяющие реализовать производственный потенциал с большей эффективностью, чем это делается сегодня. Чтобы обеспечить максимальную результативность использования резервов, необходимо повысить уровень взаимного соответствия технологических и организационных регламентов, регулирующих производственные процессы (табл. 1).

Таблица 1

**Содержание организационно-технических регламентов
в системе обеспечения работоспособности ГТО [3]**

Регламент	Подготовка ремонтных работ	Выполнение ремонтных работ	Контроль результатов	Условия реализации
О Р Г А Н И З А Ц И О Н Н Ы Й	План график постановки на ТОиР	Текущий контроль исполнения графика	Анализ исполнение графика	Претензионная работа по исполнению графика
	Акт технической диагностики. Акт приемки в ремонт. Дефектная ведомость	Уточнение неисправностей и причин	Акт приемки из ремонта	Гарантийные обязательства
	Доставка необходимых запасных частей согласно дефектной ведомости (до начала ремонта)	Соблюдение технических условий	Качество сборки	Наработка на отказ в нормативных условиях
	Подготовка и оснастка рабочего места	Оценка использования рабочего места	Оценка состояния рабочего места	Требования к рабочему месту
	Сетевой график ремонтных работ	Фиксация отклонений от сетевого графика	Анализ факта исполнения сетевого графика.	<i>Не выявлены – требуется доработка</i>
	Достаточное количество обученного ремонтного персонала с его расстановкой	Оценка взаимодействия	Морально-психологическая и физическая оценка человека	<i>Не выявлены – требуется доработка</i>
	Индивидуальное наряд задание	Оценка действий	Прием результатов	Оценка требований заказчика
Т Е Х Н О Л О Г И Ч Е С К И Й	Инструментальная диагностика состояния (параметры состояния)	Ремонтные операции в соответствии с технологическими картами	Обкатка, инструментальный контроль качества в соответствии с параметрами агрегата	Инструментальная и экспертная оценка в течение смены и приведение к требуемому состоянию
	Расчет затрат и эффективность ремонта	Прогноз затрат и эффективности вложений	Оценка затрат и эффективности ремонта	Оценка затрат и эффективности в данных условиях и режимах эксплуатации
	Подбор человека под функцию	Контроль выполнения функций	Индивидуальная мотивация	Требования к квалификации работника

Для формирования достоверных информационных потоков в ремонтном производстве необходимо выполнить следующие действия:

- описать цели, функции, задачи системы (объекта, процесса);
- определить ее главную, основную и вспомогательную функции, построить функциональную модель системы (объекта, процесса);



Рис. 2. Алгоритм информационного обеспечения ремонтного производства

- установить важнейшие параметры системы (объекта, процесса), выявить виды связей между параметрами для описания состояний структурных элементов;
- установить общие параметры системы (объекта, процесса);
- описать процесс работы системы и взаимодействия ее структурных элементов в виде зависимостей между рабочими параметрами и входными параметрами;
- построить модель информационных потоков;
- сформировать информационные потоки.

Алгоритм формирования информационного обеспечения в РП приведен на рисунке 2.

Предложенный алгоритм, разработанный на основе функционального подхода, позволяет получить адекватную модель системы ремонтного производства и дает возможность при стандартизации процессов прогнозировать ее поведение.

Таким образом, стандартизация технологических процессов и устранение отклонений от установленных стандартов выполнения ремонтного обслуживания горной техники становится одним из инструментов улучшения организации ремонтной службы, позволяющим планировать и прогнозировать работу горнодобывающего предприятия в целом, а также выявлять и использовать внутренние резервы.

Список литературы

1. 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. – № 0611. –С. 269-275.
2. Андреева Л.И. и др. Показатели эффективности использования горно-транспортного оборудования /Л.И. Андреева, К.О. Хан //Чтения памяти В.Р. Кубачека: Сб. трудов X Междунар. науч.-техн. конф. 19-20 апреля 2012 г. – Екатеринбург, 2012. – С. 336-340.
3. Андреева Л.И. и др. Анализ систем планово-предупредительных ремонтов горной техники: Стратегия профилактики /Л.И. Андреева, Д.Р. Давлетшина //Горное оборудование и электромеханика. – 2014. – № 6. – С. 38-42.

УДК 622.2

МЕТОДЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Потапов В.Я., проф., Бочков В.С., зав. каф., Бочкова К.В., асп. Потапов В.В.
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург

В представленной статье рассмотрены и обобщены различные средства диагностики. Рассмотрены области применения различных средств мониторинга технического состояния. Особое внимание в статье уделяется вибродиагностике, которая позволяет оценить техническое состояние валковой дробилки. Для этого используются специальные датчики вибрации, которые позволяют определить наличие дефектов и неисправностей в механических элементах оборудования.

Ключевые слова: валковая дробилка, диагностика, датчик вибрации, механический элемент, срок службы.

METHODS AND TECHNICAL MEANS OF DIAGNOSING MINING EQUIPMENT

Potapov V. Ya., Bochkov V. S., Bochkova K. V., Potapov V. V.

The presented article discusses and summarizes various diagnostic tools. The fields of application of various means of monitoring the technical condition are considered. The article pays special attention to vibration diagnostics, which makes it possible to assess the technical condition of the roller crusher. For this purpose, special vibration sensors are used to detect the presence of defects and malfunctions in the mechanical elements of the equipment.

Keywords: roller crusher, diagnostics, vibration sensor, mechanical element, service life.

Диагностическое обеспечение позволяет получать высокие значения достоверности правильного функционирования объектов. При определении условий эксплуатации практически важным является понятие работоспособного технического состояния объекта. Диагностирование технического состояния любого объекта осуществляется такими средствами диагностирования, как измерительная аппаратура, алгоритмизированная программа или специалист-диагност. Средства и объект диагностирования, взаимодействующие между собой, образуют систему диагностирования (систему контроля технического состояния объекта) [1, 2].

Методы и технические средства диагностирования механического оборудования горной промышленности включают в себя различные подходы и инструменты для определения состояния и выявления возможных неисправностей в механических системах, используемых в горной промышленности.

Визуальный осмотр: это самый простой и доступный метод, который позволяет обнаружить внешние признаки износа, повреждения или неисправности оборудования.

Измерение вибрации: вибрация является важным параметром, который может указывать на наличие проблем в механическом оборудовании и оценить параметры технологического процесса (рис). С помощью специальных датчиков и анализаторов вибрации можно определить уровень вибрации и выявить возможные неисправности.

Тепловизионная диагностика: этот метод основан на использовании инфракрасных камер для обнаружения температурных аномалий на поверхности оборудования. Это может указывать на перегрев или другие проблемы (рис. 1).

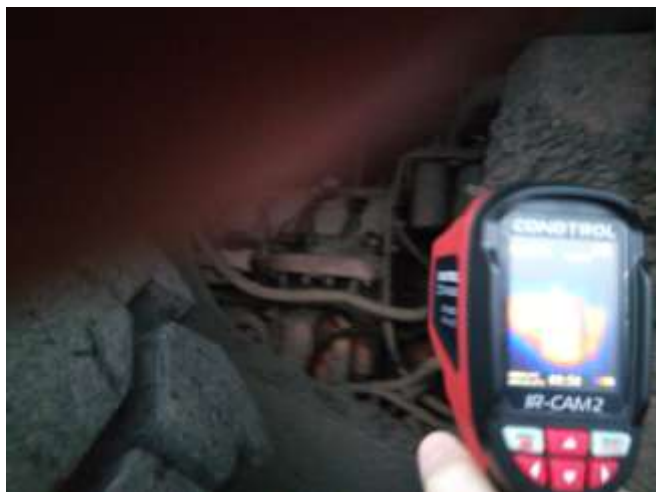


Рис. 1. Ручной тепловизионный контроль мотор-колеса самосвала БелАЗ

Ультразвуковой контроль: этот метод используется для обнаружения дефектов в материалах, таких как трещины, пустоты или включения. Он основан на использовании ультразвуковых волн для создания изображений внутренней структуры материала.

Рентгеновская дефектоскопия: этот метод также используется для обнаружения дефектов в материалах, но он основан на использовании рентгеновских лучей. Он позволяет получить более точные изображения внутренней структуры материала.

Магнитный контроль: этот метод используется для обнаружения трещин и других дефектов в металлических изделиях. Он основан на использовании магнитного поля для создания изображений внутренней структуры материала.

Акустическая эмиссия: этот метод основан на регистрации и анализе акустических сигналов, возникающих при деформации или разрушении материалов. Он позволяет обнаружить дефекты на ранней стадии их развития.

Диагностические системы: это специализированные программные и аппаратные комплексы, предназначенные для мониторинга состояния оборудования и выявления возможных неисправностей. Они могут включать в себя различные датчики, анализаторы и системы обработки данных.

Анализ смазочных материалов: этот метод основан на исследовании состава и свойств смазочных материалов, используемых в оборудовании. Он позволяет обнаружить признаки износа или загрязнения.

Это лишь некоторые из методов и технических средств, используемых для диагностирования механического оборудования в горной промышленности. Выбор конкретного метода зависит от типа оборудования, его состояния и целей диагностики.

Система диагностирования в процессе определения технического состояния объекта реализует некоторый алгоритм диагностирования, который налаживает управление или контроль объекта. В соответствии с этим при разработке систем диагностирования необходимо решать следующие задачи [3, 4]:

- обследование объекта, его возможных дефектов и признаков проявления последних, выбор или построение математического описания (модели) поведения исправного объекта и его неисправных модификаций;
- анализ математической модели с целью получения реализуемого системой алгоритма диагностирования;
- внесение при необходимости изменения в структуру и конструкцию объекта для обеспечения требуемых условий диагностирования;
- выбор или разработка средств диагностирования;
- рассмотрение и расчёт характеристик системы диагностирования в целом.

Виброакустические системы контроля технического состояния относятся к системам функционального диагностирования. Системы функционального диагностирования необходимы для проверки правильности функционирования и для поиска дефектов, нарушающих правильное функционирование объекта. Средства функционального диагностирования дискретных объектов являются чаще всего встроенными средствами контроля [1, 2, 3, 4].

Электромеханические виброзащитные устройства следует рассценивать как встроенное средство управления (контроля), а интегрированную электрическую машину как устройство преобразования механического импульса в электрический сигнал. По своей сути, электромеханический модуль является аналоговым датчиком линейного (углового) движения.

При оснащении виброактивных элементов конструируемой (модернизируемой) машины электромеханическими виброзащитными устройствами появляется возможность организовать диагностическую систему. Для проведения подобных исследований выбрано горное оборудование, поскольку в данной отрасли промышленности технологическое оборудование является дорогостоящим и часто бывает единичного производства. В частности, таким оборудованием являются валковые дробилки, в конструкции которых имеется виброизолятор подвижного вала.

Дробилки являются основным оборудованием на горных предприятиях. Однако диагностику их технического состояния производят периодически с применением специализированного оборудования, а на некоторых предприятиях осуществляют только визуальный контроль. Бесспорно, это снижает безотказность оборудования, что приводит к незапланированным аварийным простоям на производстве. Применительно к валковым дробилкам, которые имеют невысокий КПД по сравнению с конусными и щековыми, актуально наладить их автоматизированную техническую диагностику посредством вибродиагностики (рис. 2).



Рис. 2. Вихретоковый датчик вибрации

Комбинирование встроенного средства контроля с виброзащитным устройством подвижного вала двухвалковой дробилки при снабжении их обратной связью следует считать автоматизированным устройством контроля состояния машины, причем данную диагностическую систему рассматриваем как самопроверяемую виброизмерительную систему контроля. Диагностируемыми дефектами при эксплуатации двухвалковой дробилки могут являться износ бандажей, подшипниковых узлов и направляющих ползунов; отклонения в работе привода, например, в зубчатой паре редуктора, заклинивание валков. Контроль технического состояния узлов валковой дробилки позволит оптимизировать число плановых ремонтов, а также снизить количество отказов оборудования.

Список литературы

1. Иванов В. П. Диагностика и мониторинг состояния механического оборудования. Москва: Машиностроение, 2010.
2. Петров А. Н. Современные методы неразрушающего контроля. Санкт-Петербург: Политехника, 2008.
3. Сидоров С. В. Тепловизионная диагностика промышленного оборудования. Екатеринбург: УрФУ, 2012.
4. Кузнецов Д. В. Методы и средства контроля вибраций. Новосибирск: Наука, 2007.

УДК 622.002.05

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Сушко А.Е.¹, канд. тех.наук, ген. директор, Быков Д.В.^{1,2}, аспирант, рук. проектов,
Лагунова Ю.А.^{2,3}, д-р техн. наук, проф.

¹ООО НПО «ДИАТЕХ», г. Москва; ²ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», ³ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург

Рассмотрены вопросы повышения надёжности динамического оборудования за счёт применения различных средств оценки технического состояния в процессе эксплуатации. Вибродиагностика позволяет решить задачу повышения надёжности, поскольку является единственным источником данных о корневых причинах потенциальных отказов. Приведены сведения по наработанному опыту вибромониторинга технического состояния горного оборудования.

Ключевые слова: вибродиагностика, спектральный анализ, стратегия ТОиР, оценка технического состояния

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

Sushko A.E., Bykov D.V., Lagunova Yu.A.

This analytic article is devoted to improving the reliability of dynamic equipment via using nondestructive testing (NDT) methods through different maintenance strategies. Nondestructive method such as vibration diagnostic can solve it duty, because it is unique source of data on the root causes of potential failures, during operation of equipment. The article provides information about accumulated vibration technical condition experience of mining equipment.

Keywords: vibration-based diagnostics, spectrum analysis, predictive analytics, maintenance strategy, health assessment

В условиях сокращения доступности запасных частей стратегия «наработка на отказ» становится неоправданно расточительной и рискованной, т.к. не позволяет заблаговременно определить требуемый объем и номенклатуру товарно-материальных ценностей (ТМЦ) на горизонт планирования, соответствующий сроку поставки ТМЦ, что вынуждает закупать и хранить большое количество ТМЦ на складских площадях «впрок». Согласно исследованию, проведённому компанией Б1, порядка 82 % респондентов из предприятий горно-металлургической отрасли в период 2022-2023 года, ощутили достаточно серьезные финансовые трудности (оценка 7-8 баллов), связанные с дефицитом запасных частей и значительным ростом их стоимости [1].

Ключевым вопросом, с которым следует определиться специалистам службы главного инженера, является вопрос выбора стратегий технического обслуживания, отличной от стратегии «наработки на отказ».

Оптимизация ремонтных стратегий с учётом дополнительных объективных данных о техническом состоянии оборудования может существенно сократить текущие затраты и повысить операционную эффективность предприятий [2].

Вариативность выбора стратегий ТОиР в условиях современных политико-экономических реалий сводится к двум ключевым вариантам (см.

Рис. 1), каждому из которых характерны собственные инструменты для решения проблем неплановых отказов оборудования:

- плановое техническое обслуживание (ТО) - использование план графика планово-предупредительных ремонтов;
- надёжно-ориентированное ТО - оценка критичности оборудования, работа с поиском корневых причин отказов, для предотвращения повторных отказов по аналогичным сценариям.

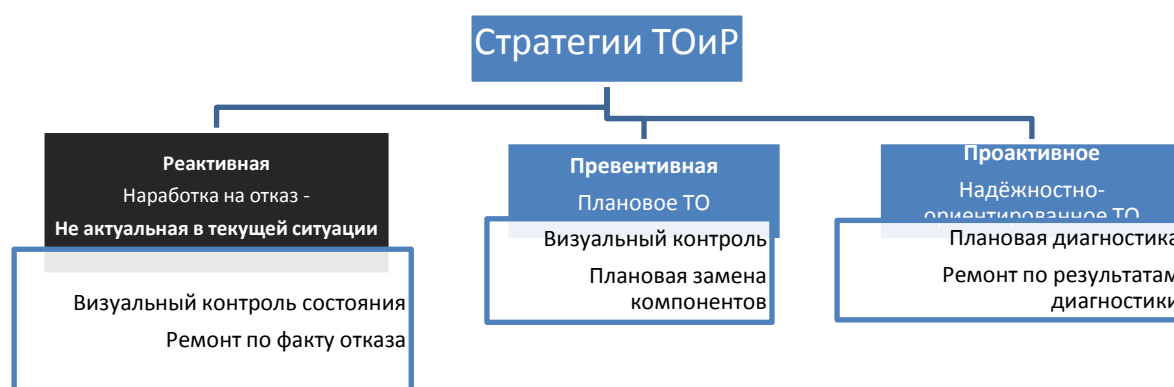


Рис. 1 Взаимосвязь стратегий ТОиР и методов противодействия неплановым отказам

Превентивная стратегия планового технического обслуживания является для нашей страны наиболее традиционной и хорошо проверенной, однако она требует высокого расхода ТМЦ и максимально унифицирована из-за чего не учитывает специфики работы оборудования и является избыточной. Для значительного снижения рисков внезапных отказов в стратегию плановых ремонтов необходимо добавить контроль состояния объектов в процессе эксплуатации. Инструментом, который позволяет решить такую задачу, является неразрушающий контроль методами вибродиагностики и тепловизионного контроля. Объективная оценка технического состояния оборудования в процессе эксплуатации позволяет оценить, как качество ремонтных работ, так и текущее состояние оборудования. Полученная информация позволит руководителям ТОиР корректировать стратегию плановой замены изнашиваемых комплектующих исходя не только из плановой периодичности замены компонентов, но и учитывая техническое состояние агрегата. Такая концепция в разной степени учтена в основных надёжно-ориентированных методиках технического обслуживания. В первом случае диагностика является основой для планирования работ по техническому обслуживанию, а во втором является инструментом для поиска скрытых отказов с целью использования механизмов проактивного технического обслуживания.

Стратегия надёжно-ориентированного технического обслуживания является на сегодня самой актуальной и перспективной для внедрения, т.к. и учитывает исторические данные по типам и частоте реализации разных видов отказов на основе чего рассчитывает риски потенциальных отказов оборудования и принимает во внимание актуальное техническое состояние оборудования до и после проведения ремонтных воздействий. В

рамках этой стратегии предусмотрена обязательная работа по разбору всех длительных отказов, что положительно влияет на сокращение повторяющихся инцидентов.

Вне зависимости от выбранной стратегии ТОиР само применение диагностических данных о техническом состоянии может оказать значительный экономический эффект при их использовании. Ключевым показателем экономической эффективности становится сокращение времени unplanned простоев оборудования. Другими источниками экономического эффекта, являются: обоснованное увеличение межремонтных интервалов, уменьшение затрат на восстановительный ремонт за счёт недопущения аварийных отказов, повышение производительности, улучшение качества выпускаемой продукции, оказывающее существенное влияние на суммарный эффект от проекта [3]. В превентивной стратегии Планового ТО эффект от внедрения диагностических средств проявляется очень ярко за счёт сведения к минимуму «эффекта приработки». Пятилетний независимый учёт простоев экскаваторов ЭШ и ЭКГ, выполненный на разрезе Виноградский (Кемеровская обл.) с 2012 по 2016 годы, показал, что до 36 % всех простоев за пять лет связаны с аварийными unplanned остановками, что превышает 429 часов на один экскаватор. Внедрение ежегодного диагностического обследования позволило сократить аварийные простои на 47 % [4]. В горнодобывающей отрасли методологическую работу по применению средств оценки технического состояния в процессе эксплуатации оборудования уже не первое десятилетие успешно развивает на базе Кузбасского государственного технического университета, профессор, член-корр. Академии естествознания РФ – Борис Людвигович Герике [5-7].

Как показывает многолетняя практика внедрения средств диагностики техническую задачу можно решить только с использованием специализированного программно-аппаратного комплекса, который позволял бы не только объединить данные из различных источников, но и обеспечить решение операционной задачи – обеспечение достаточного количества ручных и автоматизированных инструментов для возможности комплексного анализа всех собранной информации. Набор инструментов для выполнения комплексного анализа полученных данных должен включать в себя, но не ограничиваться, возможностями синхронного анализа трендов технологических и технических параметров (токовая нагрузка, давление, температура, вибрация и пр.), спектрального анализа различных параметров вибрации (огибающая, кепстр, амплитудно-частотно-фазовый анализ, анализ форм сигнала), анализ термограмм, трибодиагностикой и инструментами ультразвукового контроля.

В системах, где развитие дефектов может происходить за часы или минуты необходимо заблаговременно получать информацию о том, что в работе системы появились аномалии. Для решения такой задачи необходимо использовать самообучающиеся нейросетевые модели прогнозирования. Опыт реализации предиктивной аналитики накопленный компанией

НПО «ДИАТЕХ» показал, что наиболее эффективным решением является одновременная реализация трёх типов прогноза: модели аномалий, краткосрочного и долгосрочного прогнозов. Для каждого из видов прогнозов и различных типов оборудования целесообразно использовать одновременно несколько моделей предиктивного анализа. Максимальная глубина прогноза, которой удалось достичь на сегодня, при достоверности 75 %, составляет 3 недели [8].

Появление такой информации на этапе подготовки к ремонту значительно увеличивает эффективность как самой подготовки к работам, так и повышает качество выполняемых работ. Полученные данные о возникновении дефектов в оборудовании до момента нарушения работоспособности позволяют значительно сократить затраты на ремонт агрегат. Более того, опыт эксплуатации карьерных экскаваторов с применением средств неразрушающего контроля показал, что 55 % выявляемых в рамках неразрушающего контроля дефектов, могут быть устранены без вывода оборудования из технологического цикла [4].

Крупные зарубежные производители диагностического оборудования и поставщики подшипников до 2022 года предлагали на Российский рынок аппаратные и программные решения собственных брендов, которые позволяли создать единую цифровую экосистему, по сбору и анализу различных данных о техническом состоянии с возможностью предиктивной диагностики, но исключительно с использованием собственных аппаратных решений. Их ключевым недостатком является как раз ограниченный выбор используемых собственных средств для сбора данных, что исключало шансы эксплуатирующей организации выбирать диагностическое оборудование и системы АСУ ТП по техническим или ценовым аспектам.

Российские разработчики с 2011 года успешно ведут развитие таких отечественных программных продуктов – SAFE PLANT (внесен в реестр отечественного ПО № 2839 (приказ Минкомсвязи № 51 от 09.02.2017г.)), который является CMMS системой, позволяющей решать поставленные задачи. В настоящее время этот программный продукт поддерживает обмен данными с не менее 70 % отечественного и зарубежного диагностического оборудования, представленного на российском рынке.

Реализация инструментов объективной оценки технического состояния оборудования требует не только получения сбора необходимых параметров, но и применение современных программных комплексов, которые обеспечат возможность анализа полученных данных и своевременную передачу информации в системы планирования. Без использования возможностей спектрального анализа вибрационных сигналов невозможно ни определить вид и степень развития дефекта, ни установить корневую причину потенциального отказа до момента критического развития признаков дефектов, когда их можно обнаружить по росту общего уровня вибрации. Например, используя спектральный анализ вибрационных сигналов, можно, не останавливая технологический процесс, определить наличие износа

посадочных мест под подшипники в корпусе или на валу, и заблаговременно произвести заказ новых ТМЦ, либо взять со склада необходимые ТМЦ и оснастку для проведения ремонтных воздействий. Кроме того, используя спектральный анализ, можно установить пороговые уставки не на скалярную величину вибрационного сигнала, а наложить спектральную маску пороговых уставок на диапазоны частот. Опытная реализация метода для генератора напора преобразовательного агрегата ЭКГ-4,6 была описана в работах Кузбасского государственного технического университета [8].

Внедрение инструментов оценки технического состояния позволяет получить инструмент объективного контроля, а вместе с использованием риск-ориентированных стратегий ТОиР позволяет выстраивать плановую работу ремонтных служб, за счёт снижения количества неплановых простоев оборудования, связанных с выходом из строя подшипниковых узлов в среднем от 30 до 70 % в течение 2-х лет от момента начала проекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. «Бизнес-риски и возможности в горно-металлургической отрасли России,» Москва, 2023.
2. Рассомагин А. С. Оптимизация стратегии технического обслуживания и ремонтов с применением интеллектуальных методов // Инновации и инвестиции, №7, 2019, С. 130-136.
3. Сушко А. Е., Демин М. А. Вибродиагностика в системах технического обслуживания по фактическому состоянию оборудования металлургических производств // Вибрация машин: измерение, снижение, защита, № 1, 2005, С. 6-9.
4. Дрыгин М. Ю., Курнышкин Н. П. Диагностика состояния тяжелой горной техники при планово-предупредительных ремонтах // Динамика систем, механизмов и машин, Том 5, № 2, 2017, С. 115-122.
5. Герике Б. Л., Тациенко В. П., Копытин Д. В. Использование цифровых технологий в оценке технического состояния комплексов глубокой разработки пластов // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности, № 3, 2019, С. 72-80.
6. Б. Л. Герике, Г. И. Козовой, В. С. Квагинизде, А. А. Хорешок и др. / Диагностика горных машин и оборудования, изд. КузГТУ, 2012 - 400 с.
7. Герике Б. Л., Дрыгин С. Ю., Абрамов И. Л., Герике П. Б. Нормирование уровня вибрации экскаватора ЭКГ-4,6 по характерным спектральным составляющим // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), № 12, 2008, С. 223-227.
8. Сердце насоса склонно к износу: предиктивная аналитика как гарант надёжности оборудования, 2024. [В Интернете]. <https://habr.com/ru/articles/857442/>

УДК 62-77

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ БАРАБАННОЙ МЕЛЬНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННЫХ ПРОСТРАНСТВ И ОТСУТСТВИЯ РЕМОНТНЫХ БАЗ

Корогодин А.С.¹, асп., Иванов С.Л.¹, проф., док. техн. наук

¹Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Россия

Цель работы заключается в рационализации мероприятий в рамках системы технического обслуживания и ремонта (ТОиР), путем разработки адаптивного алгоритма корректирующих мероприятий технического обслуживания с проведением оценки критичности риска возникновения аварийных отказов ресурсопределяющих узлов барабанной мельницы, в качестве которых выступают опорные подшипники, и набора вспомогательных технических средств для реализации проведения ремонтно-восстановительных работ цапф последних без проведения демонтажа корпуса мельницы на месте ее установки в условиях ограниченных пространств при эксплуатации в составе плавучего комплекса горного оборудования, как основополагающего элемента при реализации инновационной геотехнологии разработки месторождения «Павловское» на Новой Земле.

Ключевые слова: барабанная мельница, мониторинг опорных подшипников скольжения, технология ремонта опорных цапф мельниц, плавучий комплекс, теротехнология

IMPROVEMENT OF MAINTENANCE AND REPAIR DURING OPERATION OF THE DRUM MILL IN CONDITIONS OF LIMITED SPACES AND LACK OF REPAIR BASES

Korogodin A.S., Ivanov S.L.

The purpose of the work is to rationalize measures within the framework of the maintenance and repair system (MRO) by developing an adaptive algorithm for corrective maintenance measures with an assessment of the criticality of the risk of emergency failures of the resource-determining components of the drum mill, which are the support bearings, and a set of auxiliary technical means for carrying out repair and restoration work on the trunnions of the latter without dismantling the drum mill shell at the installation site in confined spaces when operating as part of a floating mining equipment complex, as a fundamental element in the implementation of innovative geotechnology for the development of the «Pavlovskoye» deposit on Novaya Zemlya.

Keywords: drum mill, monitoring of sliding support bearings, technology for repairing mill trunnions, floating complex, therotechnology

В последнее десятилетие вновь становится актуальным разработка обширных месторождений зоны Арктики. В особенности это касается и металлосодержащих рудных месторождений, пилотным проектом в разработке которых на период с 2021 года заявлено месторождение «Павловское», располагаемое на острове Южный архипелага Новая Земля. Однако разработка подобных труднодоступных месторождений Арктики требует создание специального нового климатически-сберегающего подхода в рамках разработки инновационных геотехнологий, что может быть обеспечено за счет применения наилучших доступных технологий и создания ряда нового комплекса горного оборудования [1] в купе с рационализацией теротехнологического подхода по обеспечению надежного функционирования последних [2].

Разработанная инновационная геотехнология для освоения пилотного месторождения «Павловское» строится на создании и применении специального плавучего комплекса горного оборудования [3]. В состав данного комплекса входит ряд технологических цепочек горного оборудования дезинтеграции и обогащения добываемого рудного сырья с карьера. Геотехнология при разработке месторождения строится следующим образом: подготовка рудного сырья к выемке осуществляется буровзрывным методом при открытой системе разработки месторождения, где в последствии добываемая на карьере порода проходит первичное дробление силами оборудования, располагаемого непосредственно на карьере, далее колесным транспортом рудное сырье доставляется на плавучий комплекс горного оборудования, располагаемый в специально возведенном портовом узле в непосредственной близости от месторождения. Вследствие чего весь основной комплекс дробления, измельчения и получения концентратов осуществляется непосредственно на борту плавучего комплекса горного оборудования. Весь комплекс горного оборудования устанавливается на технологическое место стояния непосредственно при постройке плавучей баржи, тем самым жестко базирясь в стесненном пространстве палубных отсеков. Таким образом в состав палуб с горным оборудованием входят: бункеры исходной руды, шаровые мельницы, грохоты, двуспиральные классификаторы, механические флотационные машины межцикловой и основной флотации, сгустители, дисковые вакуум-фильтры, ленточные конвейеры, питатели и т.д. При этом заложенный ряд технологических линий горного оборудования, включен вместе с карьерным оборудованием месторождения в одну единую технологическую цепочку добычи и получения рудных металлических концентратов, и любая остановка элемента этой цепи приводит к нарушению технологического процесса и критическим потерям в сырье.

При такой системе построения взаимосвязи между комплексом горного оборудования карьера и оборудованием плавучего комплекса, работоспособность последнего напрямую зависит от надежности эксплуатации каждого составляющего его элемента, что в условиях стесненного пространства вкупе с малой маневренностью ресурсов, отсутствием заложенных ремонтных баз в составе плавучего комплекса и невозможности проведения полного демонтажа оборудования, а также его перемещения для ремонта как внутри палубного пространства, так и транспортирование непосредственно вне комплекса обуславливает необходимость реализации нового специального подхода в рамках системы технического обслуживания и ремонта. Такая система в свою очередь должна включать в себя адаптивный подход к мониторингу технического состояния ресурсопределяющих узлов и элементов эксплуатируемого горного оборудования плавучего комплекса в режиме реального времени и иметь в своем составе заранее подготовленные модульные комплекты вспомогательного оборудования, благодаря применению которых возможно производить комплекс

ремонтно-восстановительных мероприятий без полного демонтажа оборудования в рамках теротехнологии плавучего комплекса.

Однако предпочтительный выбор в первостепенном приближении разработки и применении адаптивной системы ТООР должен отдаваться оборудованию критического характера. Критическим в данном случае считается горное оборудование плавучего комплекса, отказ которого влечет за собой наибольшие производственно-экономические затраты и потери при получении концентратов, вызванные временными и трудозатратами на организацию и проведение восстановительных мероприятий и ремонтов. При этом вероятность безотказной работы данного оборудования должна быть ниже, чем у других взаимосвязанных в рассматриваемой технологической цепочки. Наиболее подверженному процессу изнашивания в составе технологических цепочек получения концентратов на плавучем комплексе является оборудование дезинтеграции, большую часть которого составляют барабанные мельницы с базовыми ресурсопределяющими узлами в виде опорных подшипников скольжения. Перегрев опорных подшипников скольжения в процессе своей работы под действием значительных динамических нагрузок, засорения системы смазки и неисправности уплотнительных средств является одной из наиболее распространенных причин выхода из строя барабанных мельниц. Возникающие вследствие тепловых процессов неуравновешенности и вибрации в сочетании с высокими удельными нагрузками поверхностей цапф и подшипников мельницы вызывают неравномерное изнашивание опорных подшипниковых узлов, зазор в подвижном соединении увеличивается, масляная подушка, разделяющая цапфу и баббитовый вкладыш, истончается и опорные подшипники перестают нормально функционировать. Происходит разбалансировка опорных узлов из-за чего возникают высокие осевые и радиальные нагрузки. При выкрашивании поверхностного слоя баббитовых вкладышей подшипника, образовавшиеся абразивные частицы способствуют интенсивному изнашиванию уже опорных цапф корпуса, в результате чего на рабочих поверхностях цапф появляются риски, забоины, задиры, вмятины, трещины и сколы, а сам профиль цапф приобретает конусообразность. Что в лучшем случае приводит к потере работоспособности и эффективности работы барабанных мельниц, а в худшем к отказу всей механической опорной части мельницы и как следствие к остановке одной из технологических линий обогащения оборудования плавучего комплекса. И если время, затрачиваемое на ремонтно-восстановительные работы баббитовых вкладышей опорных подшипников корпуса мельницы, является сравнительно небольшим, то время, затрачиваемое уже на ремонт пустотелых цапф корпуса мельницы, превышает первое в несколько десятков раз. Дабы обеспечить бесперебойную работоспособность всего применяемого горного оборудования плавучего комплекса путём поддержания его уровня надёжности, необходим переход от широко применяемого метода оценки по фактическому состоянию ре-

сурсоопределяющих узлов на непрерывный метод контроля в режиме реального времени с возможностью прогнозирования остаточного ресурса.

В связи с чем, были проведены экспериментальные исследования по установлению зависимости интенсивности изменения установившегося рабочего температурного поля опорных подшипников барабанной мельницы в функции отклонения геометрически-точностных отклонений опорных цапф мельницы и влияния этих отклонений на ресурс опорных подшипников барабанной мельницы [4]. Построенные на основе полученных зависимостей контрольные карты Шухарта, как функции интерпретаторов индикаторов оценки адекватности диагностического состояния, позволяют, основываясь на диагностическом показателе температуры определять техническое состояние опорных подшипниковых узлов по интенсивности изменения установившегося рабочего температурного поля при номинальной нагрузке и скорости вращения относительно соответствующей базовой величины, и принять соответствующие меры по устранению причины нагрева в коренных опорных узлах скольжения на основе предлагаемого алгоритма – скорректировать их работу для продления рабочего ресурса до момента плановой остановки, нивелируя тем самым риск возникновения отказа [5].

При этом, эмпирическим путем установлено, что при неравномерности отклонения по сечениям цапфы диаметром 300 мм на 0,08 мм от номинально-допустимых значений является критическим, вызывая предаварийный режим работы с повышением температуры опорном подшипнике до 84 °С со снижением ресурса до 20 раз, что свидетельствует о необходимости проведения ремонтно-восстановительных работ опорных цапф корпуса мельницы. Принимая во внимание тот факт, что все горное оборудование комплекса жестко базируется в процессе эксплуатации на своих технологических местах в условиях стесненного пространства и малой маневренности технических ресурсов, также предложена специальная ремонтная технология опорных узлов барабанной мельницы согласно патенту RU 2788040 C1 от 16.01.2023 для обеспечения профилактических внеплановых ремонтных работ с учётом технических, технологических и организационных факторов и связей между ними в рамках теротехнологии путем применения специальных вспомогательных механизированных комплектов ремонтного оборудования, которые встраиваются в часть эксплуатируемых барабанных мельниц [6]. Техническим результатом предлагаемой ремонтной технологии на основе применения разрабатываемых механизированных модульных комплектов станочного оборудования является повышение качества восстанавливаемой поверхности пустотелых цапф опорных подшипниковых узлов и точность их обработки, снижение трудоемкости монтажно-демонтажных работ за счет проведения набора ремонтных мероприятий непосредственно на месте эксплуатации мельниц без необходимости проведения демонтажа корпуса последних, что позволяет сократить время ремонта и увеличить

срок эксплуатации технологической линии обогащения получив при этом дополнительный выпуск продукции.

Список литературы

1. Великанов В.С., Гришин И.А., Акманова З.С., Лукашук О.А., Лукашук А.Д. Современные аспекты создания горнотранспортных машин в условиях цифровой трансформации горных предприятий. Горная промышленность. 2024;(5S):28–32. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-5S-28-32>
2. Лагунова Ю.А., Калянов А.Е., Жилинков А.А., Разбитнов С.Л., Буялич Г.Д. Предложения по повышению эффективности эксплуатации конусных дробилок на щебеночных карьерах // Горное оборудование и электромеханика. 2024. № 6 (176). С. 54-64. DOI: 10.26730/1816-4528-2024-6-54-64, EDN: VKRKVR.
3. Корогодина А.С., Иванов С.Л., Князькина В.И., Газизуллина А.Р. Геотехнология и горно-обогадительный плавучий комплекс для освоения месторождения «Павловское» // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2022. – №15. – С. 124-135. <https://doi.org/10.26160/2658-3305-2022-15-124-135>
4. Корогодина 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>
5. Корогодина А.С., Иванов С.Л. Оценка технического состояния опорных подшипников скольжения барабанной мельницы при эксплуатации в составе арктического комплекса горного оборудования. Горная промышленность. 2024;(6):144–151. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-6-144-151>
6. Корогодина А.С., Иванов С.Л. Техническое обслуживание и ремонт цапф барабанной мельницы плавучего комплекса горного оборудования // Устойчивое развитие горных территорий. – 2023. – Т. 15. – №2 – С. 760-770. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-3-760-770.

УДК 622.002

ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭКСКАВАТОРОВ ЦИКЛИЧНОГО ДЕЙСТВИЯ

Красникова Т.И., научный сотрудник, к.т.н.

«Научно-исследовательский институт эффективности и безопасности горного
производства», г. Челябинск

Представлены результаты исследования показателей эффективности эксплуатации горной техники, предложен методический подход к оценке эффективности эксплуатации экскаваторов циклического действия, позволяющий обоснованно принимать управленческие решения об экономической целесообразности сроков эксплуатации техники на предприятии, распределять ресурсы в ремонтном производстве и выбирать рациональные параметры эксплуатации.

Ключевые слова: экскаватор, техническое состояние, производительность, условия эксплуатации.

JUSTIFICATION AND SELECTION OF RATIONAL OPERATION PARAMETERS OF CYCLIC OPERATION EXCAVATORS

Krasnikova T.I.

The article presents the results of a study of operational efficiency indicators for mining equipment, proposes a methodological approach to assessing the operational efficiency of cyclic excavators, which allows you to reasonably make management decisions about the economic feasibility of the operating life of equipment at the enterprise, distribute resources in repair production and select rational operating parameters

Keywords: excavator, technical condition, performance, operating conditions

Несмотря на значительные финансовые вложения в поддержание и обновление экскаваторного парка, на горнодобывающих предприятиях существуют потери времени, связанные с непроизводительной работой. Установлено, что существующая система эксплуатации экскаваторов циклического действия характеризуется тем, что из 8760 часов годового календарного фонда времени непроизводительное время работы составляет 30-46 %. Одной из главных причин этого является существенное отклонение условий эксплуатации, в частности, качества подготовки забоя и рабочей площадки (продольно-поперечный уклон $>3^\circ$, наличие негабаритов в забое – 18-45 %) от рациональных параметров. Указанное несоответствие вызывает рост нагруженности узлов и агрегатов экскаватора, что приводит к возрастанию количества отказов и объемов затрат на ремонт [1].

Наряду с техническим состоянием экскаватора существенным фактором, оказывающим влияние на эффективность его эксплуатации, является соответствие его технического состояния испытываемым эксплуатационным нагрузкам. Степень соответствия удельной эксплуатационной производительности техническому состоянию экскаваторов предложено определять с помощью коэффициента соответствия k_c :

$$k_c = 1 - \frac{q_{\text{рац.}} - q_{\text{факт.}}}{q_{\text{рац.}}},$$

где $q_{\text{рац.}}$ – рациональная удельная производительность, тыс. м³/м³; $q_{\text{факт.}}$ – фактическая удельная производительность, тыс. м³/м³.

Для экскаваторов, имеющих сопоставимый уровень технического состояния, характерно следующее распределение в координатах «коэффициент соответствия – эффективность эксплуатации» (рис. 1).

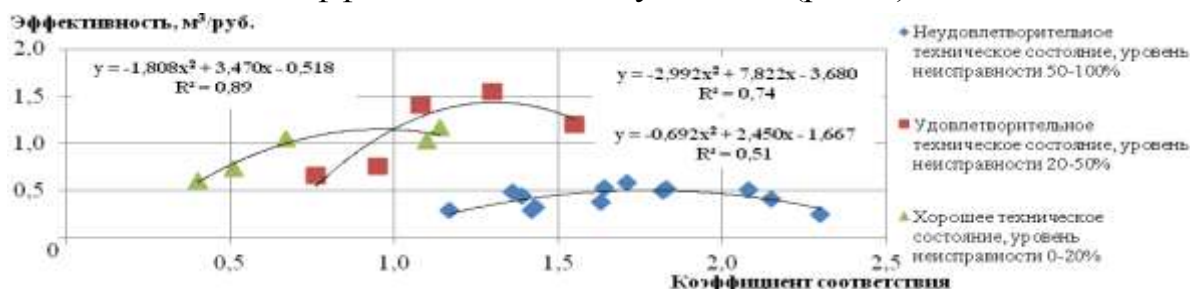


Рис. 1. Зависимость эффективности эксплуатации экскаваторов от степени соответствия технического состояния рациональной удельной производительности

Обоснованно, что степень соответствия удельной эксплуатационной производительности техническому состоянию экскаваторов оказывает определяющее влияние на эффективность эксплуатации. Высокая эффективность эксплуатации при хорошем техническом состоянии экскаватора может быть достигнута без превышения нагруженности на его узлы и агрегаты. При неудовлетворительном техническом состоянии влияние степени соответствия рациональной эксплуатационной производительности на эффективность эксплуатации значительно снижается. На основе отраслевой регламентирующей документации на ремонт горных машин и визуально-инструментального обследования экскаваторов (67ед.) определены категории их состояния, характеристики забоев и рабочих площадок (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика состояний экскаватора и забоя/рабочей площадки

Состояние экскаватора	Состояние забоя/площадки
Хорошее	Хорошее
значительное ослабление креплений узлов; варенные трещины, не выходящие за контур; вномерный износ рабочего оборудования и ОПУ	сутствие «негабаритов»; сковатость породы 150-300 мм; емя P_z и P_n = 0%; одольно-поперечный наклон рабочей площадки <3°; ширина 60-70 м, 2 подъезда
Удовлетворительное	Удовлетворительное
пустимые износ и деформация узлов; значительная течь масла редукторов; ешины металлоконструкций, не выходящие за контур; еды прядей канатов на барабанах, уплощение канатов; пустимый износ сопряжений	личие «негабаритов»; сковатость породы 300-400 мм; емя P_z и P_n = 10%; одольно-поперечный наклон рабочей площадки ~3°; ширина 40-60 м
Неудовлетворительное	Неудовлетворительное
допустимые износ и деформация узлов; ачительная течь масла редукторов; сутствие креплений элементов; ешины металлоконструкций, выходящие за контур; огочисленные трещины поворотной платформы; допустимый износ сопряжений	личие «негабаритов»; сковатость породы >400 мм; емя P_z и P_n > 20%; одольно-поперечный наклон рабочей площадки >3°; ширина <40 м (менее рекомендуемой); личие «козырька» в забое и ям на рабочей площадке

P_z , P_n – время разборки забоя и разрушения негабаритов, % от продолжительности смены.

Система «экскаватор-забой/рабочая площадка» характеризуется множеством сочетаний состояния экскаватора и забоя, которые можно описать матрицей, представленной на рисунке 2.

Состояние забоя/площадки	Неудовлетворительное			$t_{пр} < 1500$ $t_{yn} > 1,0$ $t_r > 3,0$ $C_{тр} > 3900$
	Удовлетворительное		$t_{пр} = 1500-2500$ $t_{yn} = 0,7-1,0$ $t_r = 1,6-2,9$ $C_{тр} = 2170$	
	Хорошее	$t_{пр} > 5000$ $t_{yn} = 0,1-0,2$ $t_r = 0,3-0,5$ $C_{тр} = 720$		
		Хорошее	Удовлетворительное	Неудовлетворительное
		Состояние экскаватора		

Рис. 2. Матрица состояний системы «экскаватор-забой/рабочая площадка»
 $t_{пр}$ – время производительной работы оборудования, маш.-ч; t_{yn} – удельная продолжительность обслуживания и ремонта, ч/маш.-ч; t_r – трудоемкость обслуживания и ремонта, чел.-ч/маш.-ч; $C_{тр}$ – удельная стоимость текущего ремонта, руб/маш.-ч.

Хорошее состояние забоя и экскаватора характеризуется следующими значениями показателей: время производительной работы оборудования более 5000 маш.-ч; удельная продолжительность обслуживания и ремонта – 0,1-0,2 ч/маш.-ч; трудоемкость обслуживания и ремонта – 0,3-0,5 чел.-ч/маш.-ч; удельная стоимость текущего ремонта 720 руб/маш.-ч. Неудовлетворительное состояние забоя и экскаватора отличается от хорошего по времени производительной работы в 3,3 раза; по удельной продолжительности обслуживания и ремонта в 7,5 раз; по трудоемкости обслуживания и ремонта в 8 раз; по удельной стоимости ремонта в 5,5 раза¹. Использование предложенной матрицы позволяет оценивать состояние системы «экскаватор – забой/рабочая площадка» и намечать направления преобразований в организации и технологии процесса эксплуатации экскаваторов.

Надежность функционирования экскаватора в различных условиях эксплуатации зависит от надежности его агрегатов и узлов. Статистическая обработка исходных данных аварийных остановок экскаваторов (базовых машин ЭКГ-8И, ЭКГ-10 и их модификаций ЭКГ-6,3УС, ЭКГ-8УС) позволила определить долю отказов основных механизмов экскаваторов, эксплуатируемых в различных условиях. Наибольшее количество отказов приходится на рабочее оборудование (37 %) и механизм напора (25 %). За-

¹ Расчет выполнен по формулам, представленным в докторской диссертации Андреевой Л.И.(2004г.)

зависимость количества отказов и затрат на ремонт механизма напора экскаваторов ЭКГ-8И от выхода негабаритов представлена на рисунке 3.

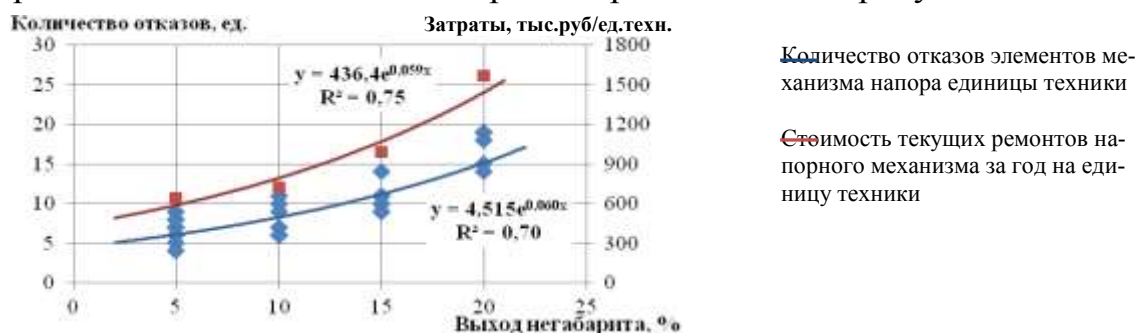


Рис. 3. Зависимость количества отказов и затрат на ремонтное обслуживание механизма напора экскаваторов ЭКГ-8И от выхода негабаритов

Используя полученную зависимость можно определить рациональные параметры эксплуатации экскаваторов, при которых обеспечивается снижение нагруженности узлов (количество отказов незначительное) и затрат на ремонтное обслуживание до приемлемого уровня [2, 3].

На основе исследования условий эксплуатации экскаваторов, расчета показателей стоимости, удельной продолжительности и трудоемкости ремонтного обслуживания, а также времени производительной работы экскаваторов разработан алгоритм выбора рациональных параметров эксплуатации экскаваторов циклического действия (рис.4).

Совершенствование системы обеспечения работоспособности техники на горнодобывающем предприятии, в частности разработка «Карт ответственности», позволило персонифицировать ответственность персонала за выполнение работ по ремонту, эксплуатации, подготовке горной массы и скорректировать систему учета затрат.

Выводы:

- установлена зависимость количества отказов и затрат на ремонтное обслуживание механизма напора экскаватора от гранулометрического состава горной массы в забое;
- предложены критерии для комплексной оценки эффективности эксплуатации экскаваторов циклического действия: надежность техники, интенсивность ее использования и экономичность обслуживания;
- разработан методический подход к оценке эффективности эксплуатации экскаваторов циклического действия, позволяющий обоснованно принимать управленческие решения об экономической целесообразности сроков эксплуатации техники на предприятии, распределять ресурсы в ремонтном производстве и выбирать рациональные параметры эксплуатации.

Список литературы

1. Сайтов В.И., Андреева Л.И., Красникова Т.И. Влияние грансостава забоя на количество отказов механизма напора экскаватора циклического действия. // Современные проблемы науки и образования – 2012 - №2 // (<http://science-education.ru/102-5859>).
2. Красникова Т.И. К вопросу определения периодичности замены основного горнотранспортного оборудования карьера // Теория и практика управления в социаль-

но-экономических системах: материалы третьей научно-практической конференции факультета управления Челяб. Гос. Ун-т. – Челябинск: Энциклопедия, 2009. – С. 140-145.

3. Красникова Т.И. Матричный подход для определения эффективности использования экскаваторного парка // Сб. трудов VIII международной научно-практической конференции «Технологическое оборудование горной и нефтегазовой промышленности. Чтения памяти В.Р. Кубачека». – Екатеринбург: Изд. УГГУ, 2010. – С. 374-380.

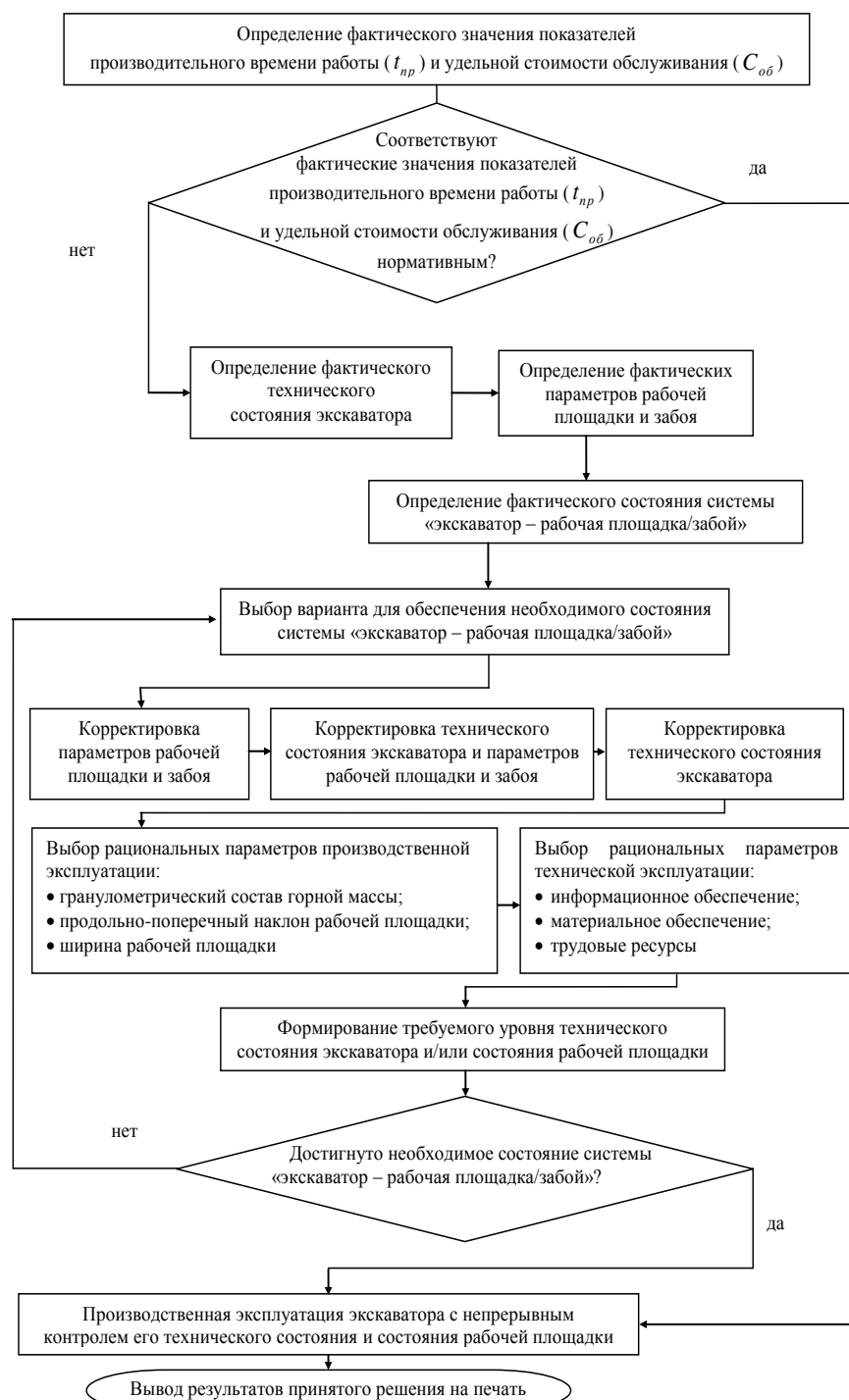


Рис. 4. Алгоритм выбора рациональных параметров эксплуатации экскаваторов циклического действия

УДК 622.23:681

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ РОЛИКОВ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Кузин Е.Г., Бурштык С.А.

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, филиал
в г. Прокопьевске

Рассмотрены основные проблемы при эксплуатации роликов ленточных конвейеров горных предприятий. Показано, что основными компонентами ленточного конвейера являются лента и роlikопоры, от качественного взаимодействия которых зависит эффективность и долговечность работы конвейера. Основной проблемой является нарушения смазывания подшипников роликов, в крайнем случае, приводящее к заклиниванию роликов и полному разрушению его корпуса. Приводятся данные по анализу температуры корпусов роликов в районе подшипниковых узлов и темпы расходования ресурса ролика. Практические исследования показывают, что от момента начала износа подшипников до полного отказа проходит от 35 до 80 суток, в зависимости от места установки ролика в схеме конвейера.

Ключевые слова: ролики ленточных конвейеров, надежность, долговечность, ресурс, технический сервис, инфракрасная термография.

ANALYSIS OF PROBLEMS IN THE OPERATION OF CONVEYOR BELT ROLLERS IN MINING ENTERPRISES

Kuzin E.G., Burshtyk S.A.

In this paper, we discuss the main problems associated with the operation of conveyor belt rollers in mining enterprises. We show that the main components of a conveyor belt are the belt and roller supports, and the efficiency and durability of the entire system depend on their proper interaction. One of the main issues is the lack of lubrication for the roller bearings, which can lead to jamming and complete destruction of the rollers. We present data on the analysis of roller housing temperatures in the vicinity of bearing assemblies and the consumption rate of roller life. Practical studies have shown that it takes between 35 and 80 days for bearings to fail after they begin to wear, depending on their location in the conveyor system.

Keywords: Conveyor belt rollers, reliability, durability, resource, technical service, infrared thermography.

Эксплуатация ленточных конвейеров в современных условиях предполагает повышение долговечности и энергоэффективности роликов. Практика показывает, что повреждение роликов ленточного конвейера приводит к увеличению сопротивления движению, а следовательно к увеличению сопротивления движения ленты, в некоторых случаях создающих угрозу ее повреждения. Кроме того возрастают расходы энергии на вращение роликов при нарушении качества смазывания подшипников, при этом дополнительно увеличивается нагрузка на компоненты приводных станций, снижая общую эффективность работы конвейера [1, 2].

Несвоевременно обнаруженные проблемы с роликами могут приводить к заклиниванию роликов и истиранию корпуса роликов (рис. 1). Заклинивший ролик приводит не только к повышению сопротивления движения ленте до 2 раз, но и к ускоренному износу ленты и поверхности самого ролика. Нередки случаи, при которых корпус ролика протирается насквозь с образованием острых граней, что особенно негативно сказывается на стыках ленты [3, 4].



Рис. 1 – Фотофиксация разрушенных корпусов роликов

Лента и роlikоопоры являются самыми важными компонентами ленточного конвейера, от качественного взаимодействия которых значительно зависит работоспособность и готовность транспортной машины. При этом на долю ленты приходится до 45 – 50%, а на долю роlikоопор до 20 – 25% стоимости всего ленточного конвейера.

Анализ проблем эксплуатации роlikов на ленточных конвейерах показывает, что наличие запыленной абразивными частицами атмосферы, попадание рудничных вод насыщенных агрессивными составляющими (соли, кислоты, абразивные частицы) приводит в первую очередь к износу подшипников, а уже затем к износу валов и обечайки.

Средний ресурс роlikов подшипников составляет от 4 месяцев до 12 месяцев и зависит от множества факторов. Наибольшее значение имеют место установки ролика, скорость вращения ленты, возможность попадания влаги в подшипниковые узлы.

Одним из эффективных, доступных и безопасных способов контроля технического состояния подшипниковых узлов является инфракрасная термография. Использование метода ИК-термографии позволяет без остановки оборудования оценить состояние подшипниковых узлов задолго до появления шумов подшипников [5, 6].

На рис. 3 приведены термограммы роlikов ленточных конвейеров с различной стадией развития дефектов подшипников. На рис. 3 а) дефект подшипника отсутствует, температура корпуса в районе подшипника отличается от температуры ленты на 0,5 градуса. На рис. 3 б) показаны зарождающиеся дефекты, при котором температура корпуса в районе подшипников превышает температуру става на 13 – 14 градусов и характеризует недостаточность смазывания. На рис. 3 в) разница в температурах составляет порядка 20 градусов, что является критерием перехода в предельно-допустимое состояние подшипника. По результатам проведенных исследований при таком состоянии возможна работа ролика в течение 1 – 1,5 месяцев до его заклинивания. На рис 3 г) разность температуры корпуса ро-

ликоопоры и ленты составляет уже около 32 градусов. Также заметно возникновение зеркальной поверхности ролика, вызываемое частичным проскальзыванием ленты по ролику. Такое состояние считается недопустимым, поскольку вызывает усиленный износ ленты. Такое состояние в среднем длится от 7 до 25 дней, после чего становится слышимым скрип ролика.

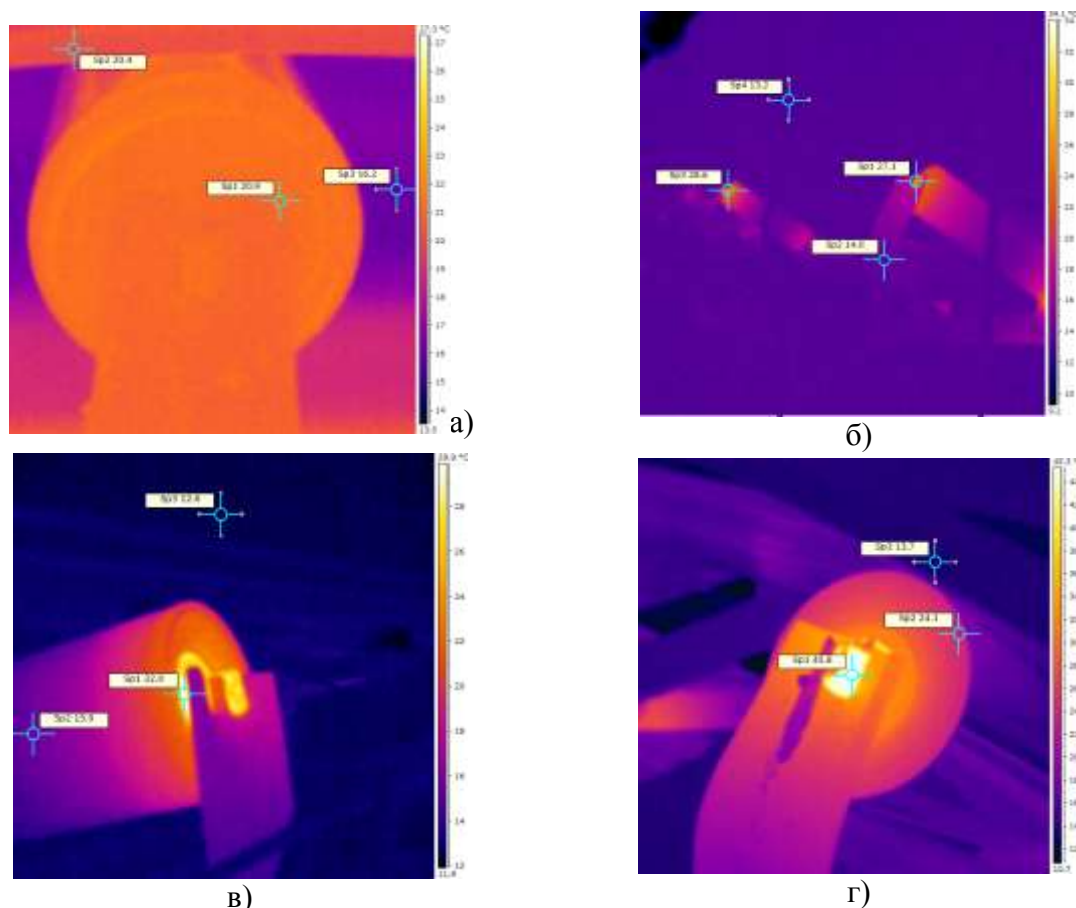


Рис. 3 – Термограммы роликов конвейера

Таким образом, одним из доступных и достаточно эффективных способов оценки технического состояния роликов ленточных конвейеров в горной промышленности является тепловой контроль. От времени первичного обнаружения зарождающейся проблемы до полного отказа ролика, вызванного перетиранием вала и разрушением корпуса от 35 до 80 суток.

Энергетическая эффективность при эксплуатации ленточного конвейера может быть достигнута при замене роликов, температура которых превышает температуру окружающей среды более чем на 20 градусов по Цельсию.

Список литературы

1. Лунегов, М. В. Возможности инфракрасной термографии при оценке технического состояния элементов ленточных конвейеров / М. В. Лунегов, Е. Г. Кузин // Сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием "Россия молодая": – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2017. – С. 14006.

2. Оценка энергоэффективности транспортных установок по результатам технической диагностики / А. А. Хорешок, Е. Г. Кузин, А. В. Шальков [и др.] // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2017. – № 5(123). – С. 79-85. – DOI 10.26730/1999-4125-2017-5-79-84. – EDN ZTSLAL.

3. Удалённый мониторинг роликов конвейера – Smart-Idler. Режим доступа URL: <https://dprom.kz/market/udalyonniyi-moneetoreeng-roleekov-konvyeyiyera/> Дата обращения 15.10.2024.

4. Анализ отказов систем ленточных конвейеров: типичные проблемы и решения. Режим доступа URL: <https://www.gramconveyor.com/ru/failure-analysis-of-belt-conveyor-system/> Дата обращения 15.10.2024.

5. Кузин, Е. Г. Оценка технического состояния редукторов шахтных ленточных конвейеров методами неразрушающего контроля : специальность 05.05.06 "Горные машины" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кузин Евгений Геннадьевич. – Кемерово, 2020. – 141 с. – EDN LOCCJ.

6. Кузин, Е. Г. Модели предельного состояния приводных станций ленточных конвейеров / Е. Г. Кузин, Б. Л. Герике, А. Ю. Захаров // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2024. – № 8. – С. 92-107. – DOI 10.25018/0236_1493_2024_8_0_92. – EDN RQBASS.

УДК 622.271

СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА НАДЕЖНОСТИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

Набиуллин Р.Ш., доц.

Уральский государственный горный университет, г.Екатеринбург, Россия

Представлена разработка менеджмента надежности металлоконструкций карьерных экскаваторов в рамках повышения эффективности организации технического обслуживания и ремонта (ТОиР) через внедрение системы предиктивного обслуживания и ремонта оборудования. Предложен комплекс мероприятий, составляющих основу менеджмента надежности металлоконструкций карьерных экскаваторов.

Ключевые слова: менеджмент надежности, карьерный экскаватор, трещина в металлоконструкции, система предиктивного технического обслуживания и ремонта.

RELIABILITY MANAGEMENT SYSTEM FOR METAL STRUCTURES OF MINING EXCAVATORS

Nabiullin R.Sh.

In the work, presents the idea of developing a reliability management system for metal structures of mining excavators within the framework of a general program to improve the efficiency of the maintenance and repair (MRO) organization system through the introduction of a predictive equipment maintenance and repair system. A set of measures is proposed that form the basis of a reliability management system for metal structures of quarry excavators.

Keywords: reliability management, mining excavator, crack in metal structure, predictive maintenance and repair system.

Введение. Анализ парка карьерных экскаваторов, эксплуатирующихся на горнодобывающих предприятиях России и стран СНГ, показывает, что основным выемочно-погрузочным оборудованием по-прежнему остаются ЭКГ – одноковшовые гусеничные экскаваторы с электромеханическим приводом. При этом основной парк (63 %) составляют экскаваторы с ковшами вместимостью 8 – 15 м³ производства (ИЗ-КАРТЭКС) и их модификации. На долю УЗТМ приходится около 25 % [1, 2].

Средний срок эксплуатации экскаваторов превышает 30 лет, при сроке амортизации 7 – 10 лет. Около 70 % парка карьерных экскаваторов эксплуатируются со сверхнормативным сроком эксплуатации, что не может не влиять на показатели надежности и эффективность эксплуатации.

Поиск путей повышения эффективности технического обслуживания и ремонта (ТОиР) карьерных экскаваторов на горнодобывающих предприятиях России является важным вопросом, так же как и разработка основных мероприятий, которые должны составлять основу менеджмента надежности металлоконструкций карьерных экскаваторов.

Очевидно, что в настоящее время у горнодобывающих предприятий нет возможности проводить техническое перевооружение и внедрять в производство высокоэффективные машины импортного производства. Следовательно, необходимо искать пути повышения эффективности эксплуатации экскаваторов ЭКГ.

Поддержание эффективности производства и сохранение его конкурентоспособности заключается в постоянном поиске, разработке и внедрении новых систем управления производственными процессами, которые смогут обеспечить снижение издержек.

Для поддержания горнотранспортного оборудования в исправном состоянии и перехода к техническому обслуживанию и ремонту оборудования заблаговременно большое значение имеет организация мониторинга технического состояния ГТО [3].

В общем числе отказов экскаваторов, 30-40 % приходится на отказы базовых металлоконструкций, т.к. увеличение срока службы неизбежно ведет к увеличению числа и росту трещин в металлоконструкциях экскаватора. Поэтому задача разработки системы менеджмента надежности металлоконструкций карьерных экскаваторов является актуальной.

Система менеджмента надежности металлоконструкций должна основываться на разработке и последовательной реализации комплекса мероприятий: разработка методики, основанной на применении современных методов неразрушающего контроля (НК), позволяющих проводить оценку напряженно-деформированного состояния металлоконструкций экспресс – контролем без предварительной подготовки поверхности [4,5]; анализ опыта эксплуатации экскаваторов ЭКГ на горнодобывающих предприятиях России; выявление наименее надежных узлов и конкретных участков, где происходит зарождение трещин уже в первые годы эксплуатации машины; диагностика выявленных участков по разработанной методике после проведения пуско-наладочных работ, до ввода оборудования в эксплуатацию; дальнейший мониторинг выявленных участков с заданной периодичностью; прогнозирование технического состояния; внедрение системы предиктивного ТОиР на основе получаемых данных; оптимизация процессов ТОиР.

Менеджмент надежности горных машин требует комплексного подхода, сочетающего традиционные методы ТОиР с инновационными технологиями. Внедрение системы предиктивного технического обслуживания и ремонта (ТОиР) на основе данных получаемых при мониторинге оборудования открывает дополнительные возможности для повышения эффективности эксплуатации оборудования.

Список литературы

1. Иванова П.В., Асонов С.А., Иванов С.Л., Кувшинкин С.Ю. Анализ структуры и надежности современного парка карьерных экскаваторов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 7. С. 51 – 57;
2. Самолазов А.В., Донченко Т.В., Шибанов Д.А. Практические результаты внедрения экскаваторов ЭКГ-18Р и ЭКГ-32Р производства ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова» на угледобывающих предприятиях России // Уголь. – 2013. – № 4. – С. 36 – 38;

3. **Андреева Л.И.** Методический подход к оценке состояния горной техники и целесообразного срока ее эксплуатации // Горное оборудование и электромеханика – 2021. – № 6 (158). – С. 38 – 43;

4. **Набиуллин Р. Ш.** Комплексная оценка напряженно-деформированного состояния металлоконструкций рабочего оборудования карьерного экскаватора // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 12–1. — С. 93—105.

5. **Набиуллин Р.Ш.** Оценка НДС и механических свойств металлоконструкции головной части стрелы экскаватора ЭКГ-20 // Горное оборудование и электромеханика. 2024. № 4 (174). С. 46 – 53.

УДК 622.271.4; 621.879.3

ВЛИЯНИЕ КВАЛИФИКАЦИИ МАШИНИСТОВ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ НА ОСОБЕННОСТИ НАБОРА ГОРНОЙ МАССЫ

Хамидов О.У., Шибанов Д.А.

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург

Рассматриваются особенности набора горной массы и изменение производительности карьерных экскаваторов в условиях реальной эксплуатации, в том числе при влиянии квалификации машинистов. Проведен анализ процесса набора горной массы карьерным экскаватором в различных по сложности экскавации условиях. Выявлены причины возникновения стопорных режимов приводов при экскавации, интенсивность их проявления при работе машинистов разного уровня квалификации. Выполнен сравнительный анализ времени экскавации в фактических условиях эксплуатации и базового времени, согласно техническим характеристикам. Оценено влияние эксплуатационных факторов на достижение показателей производительности.

Ключевые слова: карьерный экскаватор, время цикла, машинист, производительность, эргатический фактор управления.

INFLUENCE OF QUALIFICATION OF OPERATORS OF QUARRY EXCAVATORS ON THE FEATURES OF ROCK MASS RECRUITMENT

Khamidov O.U., Shibarov D.A.

The article deals with the peculiarities of rock mass recruitment and changes in the productivity of quarry excavators in the conditions of real operation, including the influence of the qualification of operators. The process of rock mass recruitment by a quarry excavator in different conditions of excavation complexity is analyzed. The reasons of occurrence of stop modes of drives at excavation, intensity of their manifestation at work of machinists of different level of qualification are revealed. Comparative analysis of excavation time in actual operating conditions and basic time according to technical specifications is performed. Influence of operational factors on achievement of target performance indicators is estimated.

Keywords: quarry excavator, cycle time, operator, productivity, ergative factor of management.

Согласно статистическим данным, более 70 % добычи полезных ископаемых в России осуществляется открытым способом, а основной объем выемки горной массы приходится на карьерные электрические экскаваторы с объемом ковша от 10 м³ [1]. Эффективность работы экскаваторов непосредственно влияет на план по объему добычи и себестоимость горных работ. Несмотря на оснащение современных машин различными система-

ми автоматизации, важным фактором, определяющим производительность экскаватора, остается квалификация машиниста.

Процесс набора горной массы характеризуется множеством переменных, таких как величина заглубления ковша в развал горной массы (забой), траектория его движения, согласованность работы приводов подъема, наклона и поворота. Все эти параметры зависят от профессионального опыта машиниста и его способности принимать оперативные решения в реальных условиях эксплуатации. Недостаточная квалификация машиниста может приводить к увеличению времени цикла экскавации, снижению коэффициента заполнения ковша, а также росту числа аварийных отказов оборудования из-за повышенных нагрузок на узлы экскаватора при наборе горной массы.

Проведено моделирование процесса набора горной массы, в процессе которого анализировались особенности процесса заполнения ковша горной массой при работе карьерного экскаватора при разных условиях эксплуатации. Погрузка горной массы осуществлялась в автосамосвалы грузоподъемностью 220 тонн [2]. Основной изменяемой переменной являлся уровень квалификации машиниста, что выражалось в различиях в выборе траектории движения ковша, скорости выполнения операций, а также частоте возникновения стопорных режимов приводов. Анализ эффективности управления машиной проводился по характеру изменения силовых характеристик приводов во времени при экскавации. Натурный эксперимент проводился на двух карьерных экскаваторах с объемом ковша 20 м³. В процессе наблюдений фиксировались ключевые параметры экскавационного процесса такие, как время цикла экскавации, величина заглубления ковша, высота набора горной массы, степень заполнения ковша [3].

Анализ данных осуществлялся на основе хронометража и покадрового анализа траектории движения ковша в забое. Полученные результаты сравнивались с теоретической кривой полученной по рекомендациям завода-изготовителя по управлению процессом копания. Для объективной оценки влияния квалификации машинистов на процесс набора горной массы использовались следующие показатели: среднее время экскавационного цикла и частота возникновения стопорных режимов приводов.

Оценка эффективности управления экскаватором осуществлялась путем сравнения работы машинистов разного уровня подготовки. Экскавации машинистами высокой квалификации характерно более плавное управление рабочим оборудованием, соответственно и снижение нагрузки на механизмы машины. В то же время зафиксировано повышение интенсивности перегрузки приводов и увеличение времени цикла при управлении машинистами с недостаточным опытом.

Анализ результатов моделирования и натурных экспериментов показал, что уровень квалификации машинистов оказывает значительное влияние на производительность карьерного экскаватора, соответственно эффективность процесса экскавации.

В ходе экспериментов установлено, что время цикла экскавации при управлении машинистами высокой квалификации меньше в сравнении с менее опытными операторами. Среднее время цикла у машинистов с высоким уровнем подготовки составило 17,4 секунды, в то время как у операторов с низкой квалификацией этот показатель достигал 29 секунд, что означает увеличение длительности цикла на 67% (рис. 1). Такое расхождение объясняется рациональным выбором траектории движения ковша, эффективным управлением приводами подъема и напора, а также минимизацией задержек, связанных с возникновением стопорных режимов.

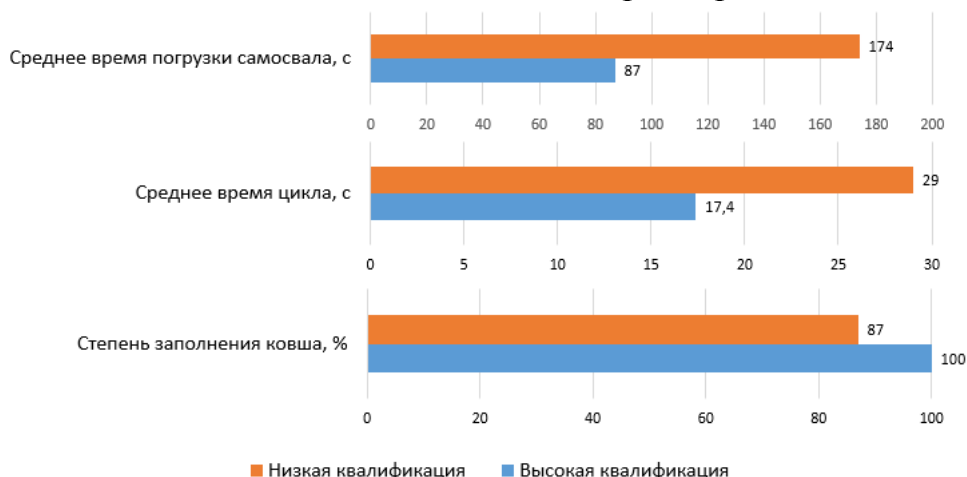


Рисунок 1. Результаты моделирования погрузки на тренажерном комплексе (составлено авторами)

Величина заглубления ковша в развал горной массы является одним из ключевых параметров, определяющих эффективность экскавации. Согласно руководству по эксплуатации завода-изготовителя, полное заполнение ковша должно происходить на уровне напорного вала экскаватора. Однако машинисты с низкой квалификацией либо чрезмерно заглубляли ковш (что приводило к перегрузке приводов и стопорным режимам), либо, напротив, недостаточно заглубляли ковш, что снижало степень его заполнения, соответственно требовалось повторное черпание.

В среднем машинисты высокой квалификации обеспечивали 100 % заполнение ковша, тогда как у менее опытных операторов этот показатель снижался до 87 %. Это приводило к необходимости увеличения числа рабочих циклов для достижения требуемого объема погрузки, что негативно сказывалось на общей производительности экскаватора.

В процессе экскавации у машинистов с недостаточным опытом чаще возникали стопорные режимы приводов, что связано перегрузкой приводов. Такой режим работы приводит к временным задержкам и повышенному износу оборудования. В ходе экспериментов было зафиксировано, что при неправильном выборе траектории копания за один цикл экскавации может возникать от 7 до 10 случаев стопорных режимов, в то время как у квалифицированных машинистов их число не превышало 3. Это связано с тем, что опытные машинисты рационально регулируют заглубление ковша и корректируют траекторию движения, избегая чрезмерных нагру-

зок на механизмы экскаватора. В результате обеспечивается плавная работа приводов рабочего оборудования, снижается интенсивность расходования ресурса, а также снижается вероятность аварийных отказов.

При натурных наблюдениях за процессом погрузки горной массы машинистом низкой квалификации средняя продолжительность цикла составила 41 секунду, что на 52 % больше базового значения (27 секунд), установленного заводом-изготовителем. У машинистов с недостаточной квалификацией среднее время составило 35 секунд, что на 30 % превышает базовое время.

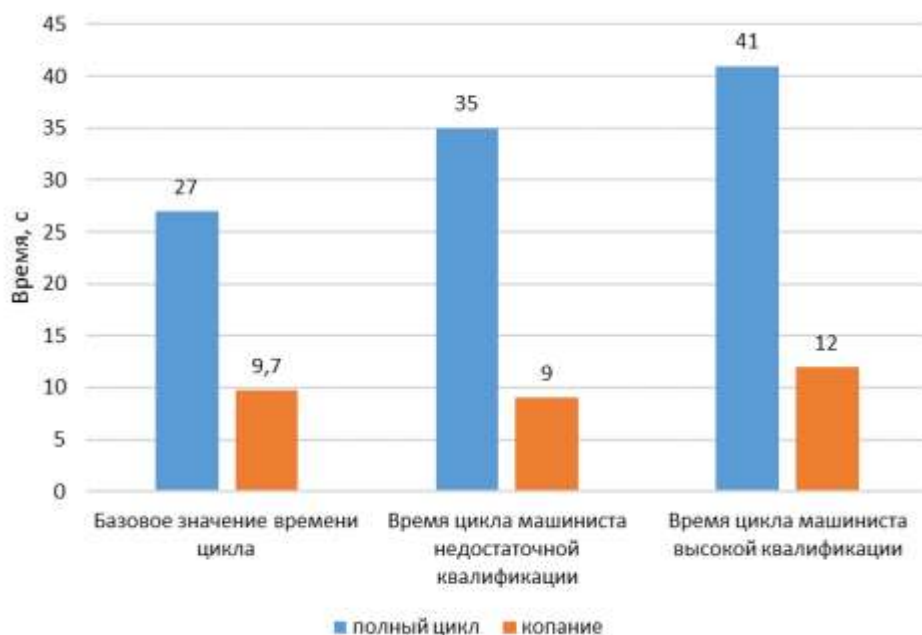


Рисунок 2. Сравнение среднего времени цикла в различных условиях эксплуатации (составлено авторами)

На основе полученных данных можно прогнозировать, что при работе машинистами низкой квалификации годовая наработка экскаватора может снизиться до 34 %, что приведет к уменьшению объемов добычи и повышенным эксплуатационным затратам. В то же время, повышение квалификации машинистов и оптимизация траектории копания позволят минимизировать потери и приблизить показатели производительности к проектным значениям.

Список литературы

1. Дремин А.В., Великанов В.С. К вопросу о гранулометрическом составе взорванных скальных пород // Горная промышленность. – 2023. – № 4. – С.73-78.
2. Шибанов Д.А., Иванов С.Л., Шешукова Е.И., Недашковская Е.С. Эффективность функционирования карьерного экскаватора, как эргатической системы // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 11-1. – С.144-158.
3. Хамидов О.У., Шибанов Д.А., Колпаков В.О. Влияние особенностей набора горной массы карьерным экскаватором на его производительность // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2024. – № 28. – С. 148-153.

УДК 622.271.4; 621.879.3

ОЦЕНКА РИСКОВ ОТКАЗОВ ПРИ ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ О СРОКАХ ПРОВЕДЕНИЕ ТОиР

А.Э. Салимов, Е.И. Шешукова, С.Л. Иванов

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II

Карьерные экскаваторы играют ключевую роль в горнодобывающей отрасли, обеспечивая эффективность производственных процессов. Однако экскаваторы подвержены деградиционным изменениям машины, что ведет к простоям и увеличению эксплуатационных расходов. Регулярное техническое обслуживание и ремонт (ТОиР) позволяет поддерживать их в работоспособном состоянии и снижает интенсивности частоты отказов. Концепция добросовестного ТОиР (CM&R) и переход на цифровизацию процессов в значительной степени способствуют снижению рисков отказов, и может стать ключевым решением по поддержанию заданного уровня готовности экскаваторного парка.

Ключевые слова: добросовестное техническое обслуживания и ремонт, (CM&R), риск, интенсивность отказов, система, выход из строя.

ASSESSMENT OF RISKS OF DISCUSSIONS IN DECISIONS ON DECISIONS ON MRO DECISIONS

A.E. Salimov, E.I. Sheshukova, S.L. Ivanov

Mining excavators play a key role in the mining industry, ensuring the efficiency of production processes. However, excavators are prone to machine degradation, leading to downtime and increased operating costs. Regular maintenance and repair (MRO) helps to keep them in serviceable condition and reduces failure rates. The concept of conscientious maintenance and repair (CM&R) and the transition to digitalization of processes contribute significantly to the reduction of failure risks and can be a key solution to maintain a given level of excavator fleet availability.

Keywords: conscientious maintenance and repair, (CM&R), risk, failure rate, system, failure.

Интенсивность отказов карьерных экскаваторов определяется пятью основными факторами: эргатическим, техническим, климатическим, организационным и технологическим. Единственным фактором, способствующим повышению (восстановлению) ресурса, является техническое обслуживание.

Для поддержания надежности экскаваторов предприятия используют различные стратегии ТОиР, каждая из которых направлена на снижение рисков отказов и простоев, в настоящее время широкое распространение получила комбинированная стратегия, реализуемая системами: RCM (надежностно-ориентированное ТО), RBM, (обслуживание на основе риска), CM&R (добросовестное обслуживание). Концепция CM&R (Conscientious Maintenance and Repair) направлена на выполнение технических операций с особой тщательностью, осознанием важности каждого действия и минимизацией ошибок.

Прогноз годовой наработки карьерного экскаватора в реальных условиях эксплуатации определяют по формуле [1]:

$$Q = 3600t_{\text{ц}}^{-1}ETK_{\text{э}}K_{\text{ТОиР}}K_{\text{НГБ}}K_{\text{УП}}K_{\text{ИП}}(1 - 5 \cdot 10^{-4}Y^2 + 6 \cdot 10^{-4}Y),$$

где $t_{\text{ц}}$ – время цикла, с; E – вместимость ковша, м³; T – фонд времени, час, Y – численное значение порядкового номера года эксплуатации и коэффи-

циенты, описываемые функциями: $K_{Э}$ – коэффициент экскавации $K_{НГБ}$ – коэффициент выхода негабарита, $K_{УП}$ – угла наклона рабочей площадки, $K_{ИП}$ – коэффициент, учитывающий воздействие погодных условий на работоспособность карьерных экскаваторов.

Для оценки эффективности различных стратегий технического обслуживания и ремонта здесь используется коэффициент $K_{ТОиР}$ представленной отношением годовой наработки к годовому фонду рабочего времени или эквивалентной ему наработки, что недостаточно корректно.

Наиболее подвержены отказам три системы, на которые приходится 72 % поломок: ковш, стрела и рукоять, приводы напора и подъема экскаватора, которые испытывают высокие нагрузки, что ведет к износу и повреждениям [2]. Например, для рудного карьера по состоянию на 2023 год в среднем наблюдалось 196,88 часов внеплановых простоев на один экскаватор в год (рисунок 1).

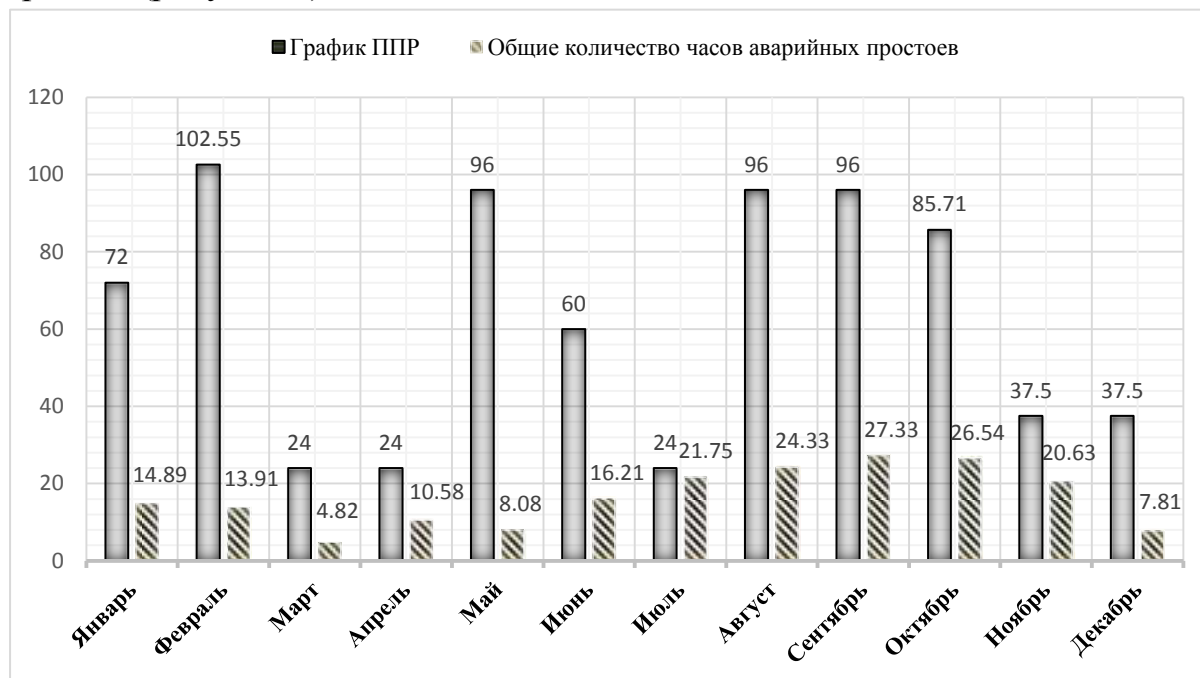


Рис.1 – Приведенные к одному экскаватору ремонтные простои парка экскаваторов ЭКГ20 при работе по руде по состоянию на 2023 год

Анализ численных значений показал, что существует некоторая годичная тенденция – снижение среднего времени на проведение плановых работ по техническому обслуживанию и рост, на этом фоне, объема аварийных ремонтов.

Ключевые принципы CM&R: соблюдение норм – следование стандартам из технической документации; ответственность персонала – осознание важности точного выполнения задач; цифровизация – внедрение цифровых инструментов для учета и анализа ТОиР, что позволяет прогнозировать риски отказов.

Перспективной, на наш взгляд, является оценка по приведенному значению продолжительности простоя при проведении плановых работ по

ремонту и техническому обслуживанию к общему времени простоев в ремонте с учетом аварийных отказов.

Для оценки влияния технического обслуживания на эффективность работ экскаватора предлагается применять коэффициент $K_{ТОиР}$, определяемый по выражению

$$K_{ТОиР} = \frac{T_{\Sigma TO}}{T_{\Sigma TO} + T_{\Sigma AP}},$$

где $T_{\Sigma TO}$ – время простоя экскаватора при проведении планового технического обслуживания, $T_{\Sigma AP}$ – время простоя экскаватора при ликвидации аварийных отказов. Для случая представленного на рисунке 1 коэффициент $K_{ТОиР}$ составит 0,8.

Системный подход к оценке рисков отказов экскаваторов помогает минимизировать простои и увеличить срок службы оборудования. Один из эффективных методов для оценки рисков – метод Файн-Кинни, который позволяет количественно оценивать вероятность отказов и их последствия [3].

Риск (C) рассчитывается как произведение трёх параметров: вероятности отказа (P), величины остаточного ресурса (P_v) эксплуатируемого элемента и возможной тяжести последствия (P_s), к которым этот отказ может привести.

$$C = PP_vP_s.$$

Каждый параметр оценивается по баллам: вероятность отказа – от 0.1 до 10, остаточный ресурс – от 0.5 до 10, последствия – от 1 до 100 [4].

Таблица 1 - Классификация рисков

Частота отказа	Баллы	Необходимые мероприятия
Очень высокий	320+ баллов	требует немедленного вмешательства
Высокий	160–320 баллов	нуждается в срочном ремонте
Средний	70–160 баллов	плановое обслуживание
Низкий	20–70 баллов	учёт в плановом ТО
Незначительный	менее 20 баллов	не требует немедленных действий

Так, например, во время технического осмотра канатов выявлено следующее: во время визуального осмотра выявлены провисание канатов, обнаружены изломы проволок и расслоения ($P_v=3$), выше выявленные приводит к заметному снижению эксплуатационных характеристик ($P_s=7$). По данным осмотра предполагается, что очень вероятно произойдет отказ ($P=6$), требуется регулировка натяжения.

Таким образом весомость отказа C присваивают величину:

$$C = PP_vP_s = 3 \cdot 6 \cdot 7 = 126 \text{ баллов}$$

Основываясь на этих результатах, можно сделать следующий вывод, что необходимо плановое обслуживание. Указанные отклонения от нормального состояния фиксируются с присвоением им соответствующих расширенных кодов. При этом кодировка проводится автоматически по

специальному алгоритму на основании результатов, внесенных в журнал контроля состояний объекта [3].

Недобросовестное техническое обслуживание и ремонт могут привести к значительным простоям и экономическим потерям. Работа акцентирует внимание на концепции CM&R, которая включает системный подход и соблюдение стандартов обслуживания. Цифровизация процессов и использование систем кодирования работ помогают автоматизировать ТОиР и обеспечить контроль. Метод Файн-Кинни для оценки рисков позволяет количественно оценивать угрозы, что способствует эффективному распределению ресурсов. Для успешного внедрения мер необходимо обучение персонала, что поможет снизить количество ошибок и повысить надежность экскаваторов.

Список литературы

1. Иванова П.В. Алгоритм прогнозирования наработки карьерного экскаватора ЭКГ-32Р в заданных условиях эксплуатации / Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME2017. Сборник тезисов. СПб: Санкт-Петербургский горный университет, 2018. – С. 79
2. Шибанов Д.А., Иванов С.Л., Шешукова Е.И., Недашковская Е.С. Эффективность функционирования карьерного экскаватора, как эргатической системы // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 11-1. – С. 144–158. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_111_0_144
3. Dagsuyu C. A new approach to Fine-Kinney method and an implementation study / C. Dağsuyu, M. Oturakci M., A. Kokangül // Alphanumeric journal, volume 3 (2), 2015. – P. 83–92 DOI: 10.17093/aj.2015.3.2.5000139953
4. Салимов А.Э., Шибанов Д.А., Иванов С.Л. Риски отказов карьерного экскаватора, связанные с его техническим обслуживанием и ремонтом. Горная промышленность. 2024;(2):97–102. DOI: 10.30686/1609-9192-2024-2-97-102

УДК 621.837

ОПЫТ РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ В УСЛОВИЯХ ТОО «BORUSAN CAT КАЗАХСТАН»

Азбаев И.А.¹, магистрант гр. ТМOM-23-23, Телиман И.В.¹, к.т.н., и.о. доцента

¹Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, Казахстан

Статья посвящена обзору ключевых аспектов, связанных с износом и ремонтом коленчатых валов двигателей, используемых в карьерных автосамосвалах.

Ключевые слова: коленчатый вал, самосвал, ремонт, восстановление, дефекты.

EXPERIENCE OF REPAIR AND RESTORATION WORKS OF CRANKSHAFTS OF DUMP TRUCKS UNDER CONDITIONS OF «BORUSAN CAT KAZAKHSTAN» LTD

Azbaev I.A., Teliman I.V.

The article is devoted to the review of key aspects related to wear and repair of engine crankshafts used in dump trucks.

Keywords: crankshaft, dump truck, repair, restoration, defects.

Borusan Makina Kazakhstan (BMK) является официальным дистрибьютором компании и продукции Cat® в пределах Казахстана. В ассортименте компании помимо автомобильной техники, представлены дизельные и газопоршневые генераторы Cat, оригинальные и качественные запасные части, и масла Cat, которые отвечают всем международным требованиям, а также имеют степень менеджмента качества (СМК) продукции ISO 9001, и носит девиз «What we keep writing is what we do, what we do is what we keep writing» [1].

Потребителями услуг по сервисному обслуживанию, запасным частям и технической поддержке являются карьеры и рудники по всему Казахстану, добывающие руды цветных и черных металлов, полиметаллических руд (Kazminerals Bozshakol, Shubarkol ERG, Варваринское месторождение.). Основная цель - высокие стандарты качества и безопасности, инновационные технические решения и высокий уровень квалификации персонала. Типичной единицей техники, поступающей на сервисное обслуживание и ремонт является Самосвал Cat® 798 AC. Модель обладает грузоподъемностью до 372 тонн [2].

На предприятие для технического обслуживания и ремонта часто приходят «длинномеры» среди коленчатых валов. Этот тип изделий сложен в дефектовке и восстановлении, если нет специального оборудования и соответствующего оборудованного цеха, а также ремонтной базы. Вес таких «длинномерных» коленчатых валов составляет от 20 до 800 килограмм, а длина может быть свыше 2-х метров (рис. 1).

В рассматриваемых коленчатых валах в процессе эксплуатации наблюдаются типовые дефекты (рис. 2), возникающие (механическая перегрузка коленчатого вала из-за сбоя в процессе сгорания, гидравлических

ударов, внезапная блокировка двигателя из-за неисправной коробки передач, высвобождения противовесов, протечка сальников, критически низкий уровень масла) [3].

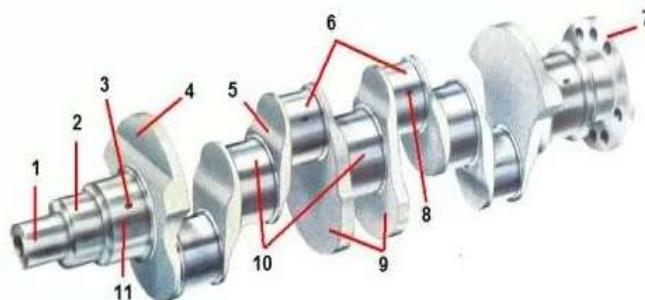


Рис. 1 – Узлы коленчатого вала

1 – носок коленчатого вала; 2 – посадочное место шестерни привода распределительного вала; 3 – отверстие подвода масла к коренной шейке; 4 – противовес; 5 – щека; 6 – шатунные шейки; 7 – фланец маховика; 8 – отверстие подвода масла к шатунной шейке; 9 – противовесы; 10 – коренные шейки; 11 – коренная шейка упорного подшипника



Рис. 2 – Основные дефекты коленчатых валов

Коррозионные язвы на коленчатых валах (рис. 3) могут возникнуть из-за высокой влажности, агрессивных веществ, недостаточной защиты от коррозии или электрохимических процессов, требующих надлежащего ухода и защитных покрытий для предотвращения их развития. Они вызывают ослабление прочности валов, перебои в работе двигателя, повышенный износ, возникает риск образования трещин.



Рис. 3 - Коррозионные язвы на галтелях шейки, абразивный износ шейки

Выкрашивание и разрушение цементационного слоя на коленчатых и распределительных валах может произойти из-за интенсивного трения (рис. 4), износа или неправильного технического обслуживания, приводящего к разрушению защитного слоя и разрушению металлической поверхности валов.



Рис. 4 – Выкрашивание верхнего цементационного слоя на кулачках распределительного вала

Задиры на коленчатых валах могут возникать по различным причинам, включая недостаточную смазку, наличие абразивных частиц или металлического окалина, а также износ или повреждение подшипников (рис. 5). Последствия включают повышенный износ деталей, нарушение работы механизма, возможность поломки и другие серьезные повреждения, которые могут привести к отказу механизма в целом [4].



Рис. 5 – Задиры на коренных шейках

При получении двигателя, делается осмотр ответственным лицом с фото-фиксацией и заполнением всех необходимых сопутствующих документов. Далее двигатель следует на участок разборки, где сначала снимают все навесное оборудование и фиксируют все скрытые дефекты на фото, которые при первичном осмотре не были выявлены. Далее производят полную разборку двигателя с маркировкой всех элементов.

В случае кривизны коленчатого вала, разрешается применять гидравлический пресс для правки коленчатых валов. Последующее действие будет на магнитном дефектоскопе (МДК-3000), если коленчатый вал помещается в данный станок. Принимается решение по поводу можно ли повторно использовать коленчатый, либо распределительный вал. Если ответ положительный, то ему назначается тех. процесс, который будет описан ниже, а если ответ отрицательный, то вал просто списывают в б/у.

Выводы:

Для снижения износа коленчатых валов предложены конкретные мероприятия, включающие увеличение радиуса скругления шатунных шеек, расширение методик исследования материала и совершенствование технологии обработки галтелей. Также был усовершенствован технологический процесс дефектовки и ремонта коленчатых валов горных машин. Благодаря внедрению нового типа оборудования удалось снизить норму времени на шлифование шеек коленчатого вала на 45 %.



Список литературы

2. https://www.cat.com/ru_RU/products/new/equipment.html
3. Gubenko, V. I. Ways to increase the strength and repair of the engine crankshaft / V. I. Gubenko, A. N. Zavorotny, A. G. Solomatina // Актуальные проблемы аграрной науки, производства и образования: Материалы IX национальной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов (на иностранных языках), Воронеж, 01–30 апреля 2023 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2023. – Р. 152-158.
4. Гвоздев, А. А. Как провести капитальный ремонт коленчатых валов / А. А. Гвоздев, Т. А. Комарова, А. В. Дунаев // Фермер. Черноземье. – 2019. – № 1(22). – С. 48-52.

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. Павел Жиганов

УДК 656.2

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ БЕЗЛЮДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА КАРЬЕРАХ

Абдрахманова К.В., преподаватель СПО, **Ткачук Е.С.**, студент СПО.
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург

Описано назначение безлюдных технологий, приведены примеры систем, используемых на транспорте. Приведены ключевые факторы, влияющие на внедрение безлюдных технологий на железнодорожном транспорте в карьере.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, безлюдные технологии, подвижной состав, горная порода.

ANALYSIS OF THE USE OF UNMANNED TECHNOLOGIES IN THE ORGANIZATION OF ROLLING STOCK MOVEMENT IN QUARRIES

Abdrakhmanova K.B., Tkachuk E.S.

The purpose of unmanned technologies is described, and examples of systems used in transport are given. The key factors influencing the introduction of unmanned technologies in railway transport in the quarry are given.

Keywords: railway transport, unmanned technologies, rolling stock, rock.

В условиях растущих требований к эффективности и безопасности производства всё большее внимание уделяется внедрению безлюдных технологий в различных отраслях промышленности. Одной из таких областей, где применение автоматизированных систем может принести значительные преимущества, является железнодорожный транспорт на карьерах.

Карьерные работы связаны с высокими рисками и требуют тщательного соблюдения техники безопасности. Применение безлюдных технологий в этой сфере может существенно снизить риски, связанные с человеческим фактором, и обеспечить безопасные условия труда для персонала.

Кроме того, использование автоматизированных систем на железнодорожном транспорте в карьерах может привести к увеличению производительности, снижению затрат на обслуживание и оптимизацию процессов погрузки и разгрузки материалов. Это, в свою очередь, позволит предприятиям повысить свою конкурентоспособность и эффективность работы.

Безлюдные технологии активно внедряются в транспортную отрасль, что позволяет повысить безопасность перевозок, снизить затраты на топливо и оплату труда водителей, а также обеспечить более комфортные условия для пассажиров.

В автомобильном транспорте существует множество систем позволяющих полностью принимать участие в управлении без участия водителя. Такие системы, как:

- SberAutoTech. Технология компании применяется как в автомобилях с водителем, так и в полностью автоматизированных устройствах. Напри-

мер, продукт ФЛИП может перевозить до шести пассажиров без участия водителя.

- Highway Pilot от Mercedes. Система для дальнобойщиков, которая может полностью принять управление на себя во время движения по трассе.

- Google's Waymo. Система автономного вождения, разработанная компанией Google, обеспечивает движение и реагирование автомобиля на окружающую среду без участия водителя.

Все автомобили, оснащенные безлюдными технологиями или автопилотом, оборудованы встроенными навигационными системами и датчиками, которые позволяют точно определить местоположение транспортного средства и проложить оптимальный маршрут до конечного пункта.

Помимо беспилотных автомобилей существуют беспилотные поезда. Они используются в некоторых метрополитенах мира. Эти поезда оснащены системами автоматического управления, которые позволяют им самостоятельно передвигаться по рельсам. Беспилотные поезда могут повысить безопасность перевозок и снизить затраты на оплату труда машинистов. В Москве и Санкт-Петербурге уже проводятся испытания беспилотных трамваев. Эти трамваи оснащены системами автоматического управления, что позволяет им самостоятельно передвигаться по рельсам и останавливаться на остановках.

В железнодорожном транспорте тоже есть необходимость вводить новые способы управления, например [1]:

- использование спутниковых технологий и автоматической идентификации подвижного состава, что позволит управлять движением, контролировать положение поездов и автоматически задавать им разрешённые параметры движения;

- внедрение автоматизированных центров управления, где содержится информация о ресурсах железных дорог и транспорта, базы данных пользователей, данные диагностики и состояния объектов;

- использование компьютерных систем управления на станциях в связке с цифровым радиоканалом, что поможет оперативно управлять, мониторить, прогнозировать и оптимизировать логистику;

- внедрение систем интервального регулирования движения поездов с использованием спутниковой навигации (без светофоров);

- использование интеллектуальной системы управления железнодорожным транспортом (ИСУЖТ), которая позволяет управлять логистическими процессами в режиме реального времени, осуществлять комплексное планирование и регулирование деятельности железных дорог [2].

У железнодорожного транспорта наблюдается ряд проблем: сокращение грузоперевозок (перевозки угля сократились на 6,2 %, а чёрных металлов — на 9,9 %), невозможность обрабатывать грузы в срок (станции не справляются с нагрузкой), кадровый дефицит [3].

Перспективы развития беспилотного железнодорожного транспорта предполагают, что в будущем такие поезда станут основным средством массовой перевозки, что позволит существенно снизить загруженность дорог и сделать транспорт более эффективным и безопасным.

Внедрение безлюдных технологий в различных отраслях промышленности приобретает особое значение. Одной из таких областей, где применение автоматизированных систем может принести значительные преимущества, является железнодорожный транспорт на карьерах.

Актуальность безлюдных технологий на железнодорожном транспорте на карьерах обусловлена несколькими факторами:

- безопасность персонала, когда применение безлюдных технологий позволяет снизить риски, связанные с работой людей в опасных зонах карьера, при проведении работ на большой глубине или в условиях, когда существует риск обрушения горных пород;
- увеличение производительности, то есть автоматизация процессов погрузки и разгрузки материалов, что может привести к увеличению производительности и снижению затрат на рабочую силу;
- снижение затрат на обслуживание, а именно снижение затрат на обслуживание и ремонт оборудования;
- оптимизация процессов, точный контроль процессов погрузки и разгрузки, что может привести к оптимизации этих процессов и снижению затрат на материалы;
- снижение рисков аварий, связанных с человеческим фактором;
- улучшение условий труда, снижение рисков для здоровья работников;
- инновации и развитие, способствуют развитию новых технологий и методов работы, что может привести к появлению новых возможностей и преимуществ для предприятий.

Также существуют и препятствия для внедрения безлюдных технологий на железной дороге карьеров. Внедрение безлюдных систем требует значительных инвестиций в оборудование и обучение персонала. Однако учитывая преимущества, которые они могут принести, многие предприятия рассматривают их как перспективное направление развития.

Одним из основных препятствий для внедрения безлюдных систем является отсутствие опыта и знаний у персонала. Для решения этой проблемы необходимо организовать обучение сотрудников, которые будут работать с новым оборудованием.

Ещё одним препятствием может стать сопротивление со стороны работников, которые опасаются потерять свою работу из-за автоматизации процессов. Для преодоления этого сопротивления необходимо провести разъяснительную работу среди персонала и показать преимущества, которые они получают от внедрения новых технологий.

Безлюдные технологии для подвижного состава представляют собой перспективное направление, которое может значительно повысить эффек-

тивность и безопасность перевозок. Внедрение таких технологий в карьерах позволит оптимизировать рабочие процессы, снизить затраты на оплату труда и обеспечить бесперебойную работу даже в условиях ограниченного доступа к рабочей силе.

Применение беспилотных локомотивов и вагонов, оборудованных системами автоматического управления, позволит снизить риски, связанные с человеческим фактором, и повысить точность следования по маршруту. Это особенно актуально для карьеров, где требуется высокая точность и соблюдение графика перевозок.

Однако, несмотря на все преимущества, внедрение безлюдных технологий в карьерах требует тщательного планирования и подготовки. Необходимо учитывать специфику работы, возможные риски и разработать меры по обеспечению безопасности и контроля работы систем.

В целом, безлюдные технологии на железнодорожном транспорте представляют собой перспективное направление, которое может быть успешно применено в карьерах. Однако для их успешного внедрения требуется комплексный подход и сотрудничество между различными участниками горнопромышленной отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Развитие беспилотных технологий на железнодорожном транспорте [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/502202/>. – Дата доступа: 01.02.2025.
2. ИСУЖТ-2017: Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование: [сайт]. – URL: <https://www.rzd-partner.ru/events/conference/isuzht-2017-intellektualnye-sistemy-upravleniya-na-zheleznodorozhnom-transporte-kompyuternoe-i-matem/> (дата обращения: 14.02.2025). – Текст электронный.
3. Бердышева, Ю. А. Особенности цифровизации железнодорожного транспорта / Ю. А. Бердышева, Е. А. Жаркова // Транспортное дело России. – 2019. – № 4. – С. 43-44.

УДК 629.018+629.3.024

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В РАМНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ

Жилинков А.А.^{1,2}, доц., канд. техн. наук, **Лагунова Ю.А.**^{1,2}, проф., д.т.н.,
Макарова В.В.^{1,2}, старший преподаватель, **Калянов А.Е.**¹, доц., канд. техн. наук

¹Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

²«УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург

С целью определения величин динамических нагрузок в элементах рам карьерных автосамосвалов проведены экспериментальные исследования. В основу принят электротензометрический метод. Создана специальная измерительная система, адаптированная для рассматриваемых условий. Получен значительный объем данных по динамическим нагрузкам. Результаты исследований в виде диаграмм значений электронных сигналов эквивалентны условиям эксплуатации, режимам движения, выполнения грузовых и других операций.

Ключевые слова. Карьерный самосвал, несущая система, динамическая нагрузка, тензометрия, условия эксплуатации, режимы работы

INVESTIGATION OF DYNAMIC LOADS IN THE FRAME STRUCTURES OF MINING DUMP TRUCKS

Zhilinkov A.A., Lagunova YU.A., Makarova V.V., Kalyanov A.E.

In order to determine the values of dynamic loads in the frame elements of dump trucks, experimental studies have been conducted and the electrotensiometric method has been adopted. A special measuring system has been created, adapted to the conditions under consideration. A significant amount of data on dynamic loads has been obtained. The research results in the form of diagrams of electronic signal values are equivalent to the operating conditions, driving modes, and cargo and other operations.

Keywords. Mining dump truck, load-bearing system, dynamic load, strain gauge, operating conditions, operating modes

В условиях горных открытых разработок (рудных и нерудных карьеров) горные машины эксплуатируются с высокой интенсивностью и в весьма сложных условиях. Работа транспортных, погрузочных машин и другой техники сопровождается действием повышенных нагрузок в различных элементах конструкции. В результате, в агрегатах, системах, механизмах и устройствах машин возникают различного рода отказы. Это приводит к потере производительности и работоспособности горных машин, а также увеличению затрат на техническую эксплуатацию.

В транспортных системах горно-обогатительных комбинатов, где используется комбинированный автомобильно-железнодорожный транспорт основной автотранспортной единицей является карьерный самосвал.

Одним из наиболее ответственных и сложных элементов конструкции карьерных автосамосвалов является их рама (несущая система). Рама — это основа машины, а ее конструкция и конфигурация элементов значительно сложнее, чем рамы дорожных автосамосвалов. Ремонт элементов рамы (несущей системы) проводится рабочими высокой квалификации с использованием специального сварочного оборудования. В ряде случаев ремонтные работы выполняются со значительными потерями времени (простоями), с высокими финансовыми, материальными и трудовыми затратами.

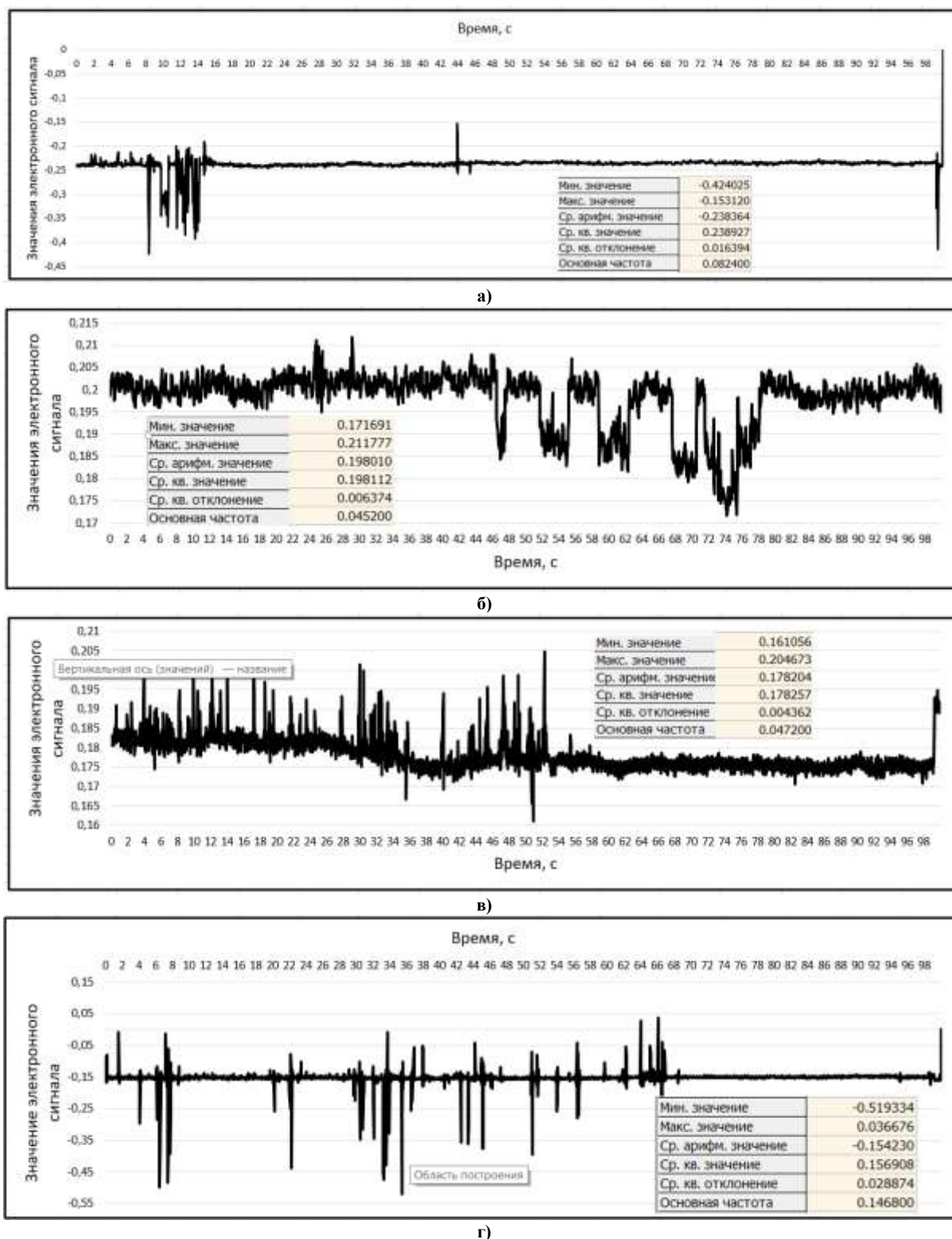


Рис. 1. Диаграммы величин электронных сигналов тензометрических измерений на участках рамы карьерного автосамосвала при выполнении операций:
 а – погрузочных (7 циклов); б – движение на подъем со скоростью 11 км/ч; в – движение по неровной дороге на горизонтальном участке (18 км/ч); г – движение на спуск в порожнем состоянии (22 км/ч)

Условия эксплуатации (работы), режимы движения и выполнения грузовых операций определяют величину статических и динамических нагрузок в элементах рам (несущих системах) карьерных самосвалов.

Для получения информации о реальных нагрузках в элементах рамы, необходимо проведение экспериментальных исследований непосредственно на карьерном самосвале. В качестве наиболее рационального и эффективного метода, выбран электротензометрический метод, основанный на измерении нагрузок (деформаций) с помощью датчиков-тензорезисторов.

Для проведения экспериментальных тензометрических исследований коллективом авторов разработана специальная измерительная система. Приборы измерительной системы устанавливаются непосредственно на карьерный самосвал. Тензодатчики приклеиваются в местах концентрации отказов на раме, а тензометрическая станция, компьютер и другие приборы размещаются в кабине оператора.

Для проведения экспериментальных исследований на раму карьерного самосвала БелАЗ-75131 были установлены фольговые датчики-тензорезисторы и подключена вся измерительная аппаратура. В ходе эксперимента получен значительный массив данных в виде электронных сигналов, который был помещен в базу данных.

На рис. 1 показаны диаграммы величин электронных сигналов при тензометрических измерениях на участках рамы карьерного автосамосвала. Здесь приведены показания, которые снимались на различных режимах: при выполнении погрузочных операций (рис. 1, а), при движении на подъем (рис. 1, б), при движении по неровной дороге на горизонтальном участке (рис. 1, в), при движении на спуск (рис. 1, г). На рис. 1 также показаны некоторые статистические показатели.

Результаты экспериментальных исследований, показали, что величины электронных сигналов и статистические показатели соответствуют изменению условий эксплуатации, режимам движения, режимам выполнения грузовых работ и прочих технологических операций.

Полученные экспериментальные диаграммы показывают, что величины электронного сигнала в элементах рамной конструкции адекватны условиям эксплуатации и режимам работы карьерного самосвала. Дальнейшие исследования будут направлены на совершенствование рам, разработку эффективных режимов, создание беспилотных систем, а также предиктивных технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лагунова Ю.А., Жилинков А.А., Макарова В.В., Калянов А.Е., Буялич Г.Д. Измерительная система для исследования процессов деформации в несущих элементах карьерных автосамосвалов // Горное оборудование и электромеханика. 2024. № 6 (176). С. 43-53.

УДК 629.018+629.3.024

ГИБРИДНЫЕ КАРЬЕРНЫЕ САМОСВАЛЫ: АНАЛИЗ ТЕКУЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ, СТРАТЕГИЙ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГИЕЙ И ПЕРСПЕКТИВ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Линь Цюньхао¹, аспирант (Китай), Ю.А. Лагунова^{1,2}, д-р техн. наук, проф.

¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ

²ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, РФ

Проанализировано текущее состояние и будущие тенденции развития технологий гибридных карьерных самосвалов. Предложены направления для будущих технологических прорывов: инновации в области аккумуляторных технологий и стратегий управления энергией, синергетическая оптимизация гибридных силовых систем и совершенствование водородной промышленной цепочки. Результаты исследования предоставляют теоретическую основу и технические пути для оптимизации производительности, повышения экономичности и достижения цели нулевых выбросов гибридных карьерных самосвалов.

Ключевые слова: гибридные системы, управление энергией, накопители энергии, водородная энергетика, карьерные самосвалы.

HYBRID MINING DUMP TRUCKS: ANALYSIS OF CURRENT TECHNOLOGIES, ENERGY MANAGEMENT STRATEGIES, AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT PROSPECTS

Lin Qunhao, Yu.A. Lagunova

This article systematically analyzes the current state and future trends in the technological development of hybrid mining dump trucks. Directions for future technological breakthroughs are proposed: innovations in battery technologies and energy management strategies, synergistic optimization of hybrid power systems, and advancements in the hydrogen industrial chain. The research results provide a theoretical foundation and technical pathways for optimizing performance, enhancing economic efficiency, and achieving zero-emission goals for hybrid mining dump trucks.

Keywords: hybrid systems, energy management, energy storage, hydrogen energy, mining dump trucks.

Конфигурации гибридных силовых систем

Гибридные карьерные самосвалы обычно используют следующие конфигурации силовых систем: последовательная, параллельная и последовательно-параллельная. Последовательная конфигурация (Рис.1), например, Komatsu 930E-4: двигатель приводит в действие генератор, который вырабатывает электроэнергию, хранящуюся в аккумуляторе, а затем питает электродвигатель для привода транспортного средства, что подходит для городских условий, но менее эффективно в тяжелых горных условиях. Параллельная конфигурация (Рис.2, Рис. 3), например, Caterpillar 794 AC: дизельный двигатель и электродвигатель могут работать независимо или совместно, что оптимально для тяжелых условий, например, при движении на подъем в карьерах, однако эта система имеет высокую сложность. Последовательно-параллельная конфигурация (Рис.4), например, Liebherr T 264: комбинирует преимущества обеих систем, позволяя гибко переключаться между источниками энергии в зависимости от условий, обеспечивая высокую адаптивность и энергоэффективность [1].

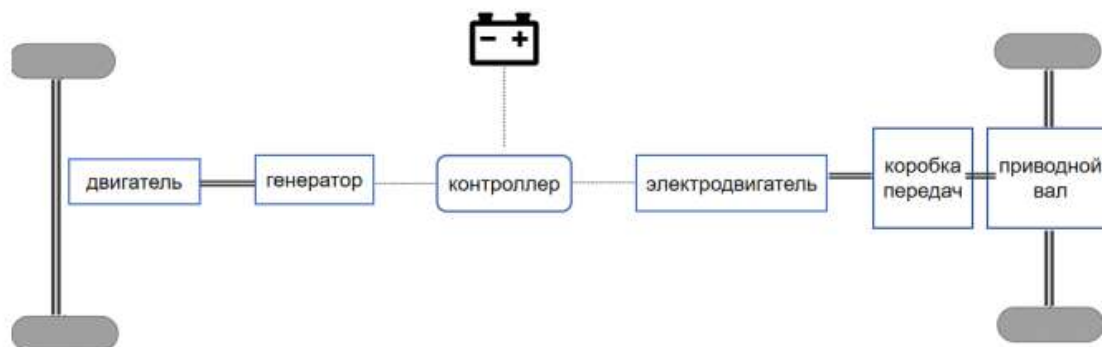


Рис. 1 Схема последовательной гибридной трансмиссии:

— механическое соединение — электрическое соединение

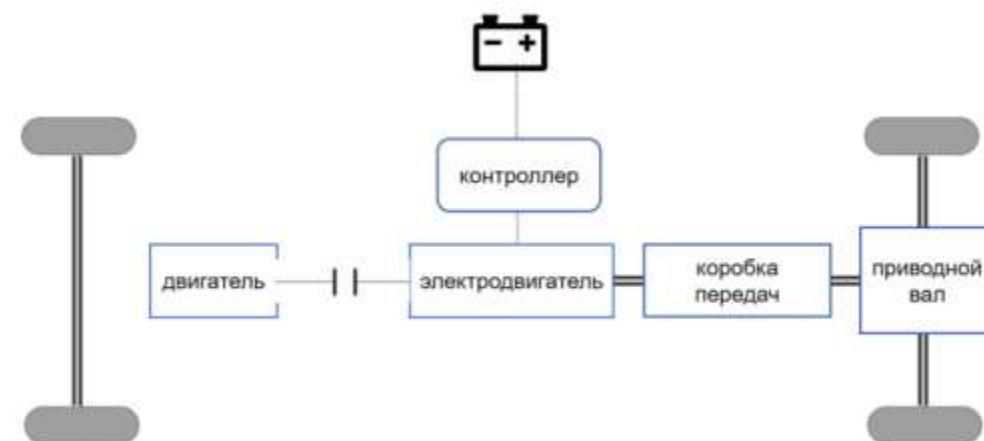


Рис. 2 Схема одновальной гибридной трансмиссии

— механическое соединение — электрическое соединение

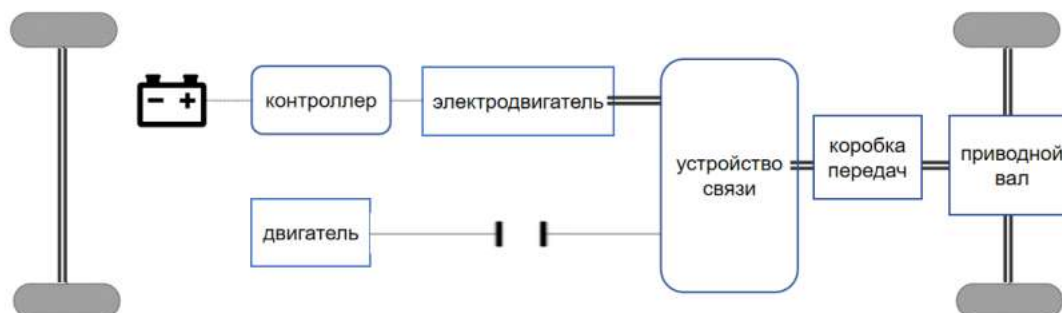


Рис. 3. Схема двухвальной гибридной трансмиссии

— механическое соединение — электрическое соединение

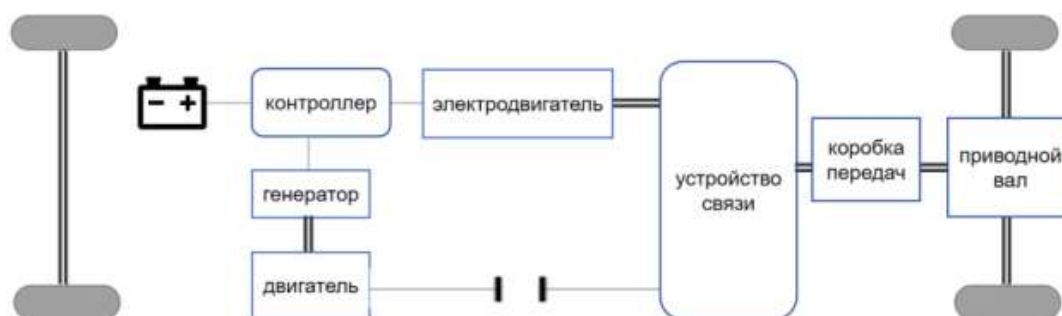


Рис. 4. Схема последовательно-параллельной гибридной трансмиссии

— механическое соединение — электрическое соединение

Современные технологии накопления энергии и стратегии управления энергией

В области электроприводных самосвалов ключевыми технологиями накопления энергии являются литий-ионные аккумуляторы, суперконденсаторы и маховиковые накопители. Литий-ионные аккумуляторы: серия Tianxing от CATL демонстрирует выдающиеся характеристики, включая срок службы более 8000 циклов и стабильную работу при $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Суперконденсаторы: 48В система Maxwell обладает высокой удельной мощностью (15 кВт/кг) и быстрой зарядкой/разрядкой, обеспечивая компенсацию мощности в переходных режимах. Маховиковые накопители: решение Williams Hybrid Power обеспечивает КПД рекуперации энергии до 92 %, идеально подходит для частых старт-стопных режимов.

Для гибридных систем накопления энергии ключевым аспектом является повышение эффективности рекуперации и стабильности работы. Современные стратегии управления энергией делятся на: правило-ориентированные стратегии, оптимизационные стратегии и стратегии на основе обучения [2].

Области применения

Высокогорные карьеры

Технология компенсации мощности гибридных систем в условиях эксплуатации на высоте 4200 м над уровнем моря: в высокогорных регионах сниженное содержание кислорода приводит к значительной потере мощности традиционных дизельных двигателей. Гибридные системы, благодаря электромоторной поддержке, обеспечивают дополнительную мощность, гарантируя стабильную работу техники. На высоте 4200 м атмосферное давление снижается, а концентрация кислорода в окружающей среде падает до $\sim 12\%$. Посредством оптимизации стратегии управления процессом сгорания гибридные системы достигают более эффективного горения в условиях гипоксии, одновременно сокращая выбросы загрязняющих веществ.

Карьеры в экстремально холодных регионах

Для повышения автономности самосвала БелАЗ-7513М в условиях экстремально низких температур ($-55\ldots-60\text{ }^{\circ}\text{C}$) предложено создание вакуумного слоя вокруг аккумуляторного отсека, а также разработать систему управления для поддержания и мониторинга рабочей температуры аккумуляторов за счет использования промышленных керамических нагревателей. Результаты показали, что предложенные технические решения обеспечивают поддержание температуры аккумуляторных блоков в рабочем диапазоне ($20\text{--}25\text{ }^{\circ}\text{C}$) [3].

Инновации в технологиях аккумуляторов и управлении энергией

Современные аккумуляторные технологии, такие как литий-железо-фосфатные (LFP) батареи, обеспечивают базовую работоспособность карьерной техники, однако их автономности недостаточно для сценариев с высокой нагрузкой и непрерывной эксплуатацией. Например, полностью

электрические самосвалы демонстрируют значительное снижение запаса хода при транспортировке тяжелых грузов, требуя частой зарядки или замены батарей, что негативно влияет на производительность. Энергетическая плотность современных аккумуляторных систем (140–200 Вт·ч/кг) существенно уступает дизельному топливу (12700 Вт·ч/кг), что увеличивает массу бортовой системы накопления энергии на 11 %, снижая грузоподъемность и дальность пробега. Недостаточная развитость зарядной инфраструктуры в карьерах, а также ограниченное применение мощных систем быстрой зарядки приводят к длительным простоям, делая невозможным круглосуточный рабочий цикл. Частичное решение – использование сменных батарейных модулей – ограничено высокой стоимостью строительства и обслуживания станций замены [4].

Прорывы в технологии управления энергопотреблением и новых системах накопления энергии постепенно устраняют эти ограничения.

Динамические системы распределения энергии на основе глубокого обучения с подкреплением: технологии глубокого обучения с подкреплением (DRL) играют ключевую роль в оптимизации энергобаланса гибридных систем горной техники. Адаптируясь к сложным условиям карьеров, такие системы в реальном времени оптимизируют распределение энергии между двигателем и электромотором. Например, ВАНГ[5] и коллеги разработали модель управления энергией, интегрирующую компьютерное зрение. Используя метод обнаружения объектов на основе сверточных нейронных сетей (CNN), система извлекает визуальную информацию с бортовых камер, преобразуя ее во входные переменные для алгоритма DDPG (глубокий детерминированный градиент политики). Результаты тестирования показали, что визуальные данные позволяют стратегии управления энергией (EMS) сократить расход топлива на 4,3–8,8 %, приближаясь к глобальному оптимуму с достижением 96,5 % топливной эффективности.

Гетерогенные мультиисточниковые энергосистемы (топливные элементы + суперконденсаторы + Li-ion): совмещение топливных элементов, суперконденсаторов и литий-ионных батарей обеспечит гибкое и надежное энергоснабжение. Такая технология позволяет переключаться между источниками в зависимости от режима: топливные элементы и батареи обеспечивают пиковую мощность при подъеме с грузом, а суперконденсаторы аккумулируют энергию торможения. Исследования ЧЖАН Вэя и коллег на примере 55-тонного электрического самосвала доказали, что гибридная система LFP-батарея/суперконденсатор повышает КПД накопителей на 18–22 %, продлевает срок службы аккумуляторов и улучшает динамические характеристики. Технология проходит апробацию на экспериментальных образцах и ждет промышленного внедрения в ближайшие годы.

Валидация твердотельных батарей в экстремальных температурных условиях (–40 °C ... +65 °C): твердотельные батареи с повышенной энергетической плотностью и безопасностью открывают новые возможности для

гибридных систем. Их стабильная работа в экстремальных условиях (арктические карьеры Канады или высокотемпературные месторождения Австралии) докажет надежность техники.

Синергетическая оптимизация гибридных силовых систем

Традиционные схемы силовой связи гибридных карьерных самосвалов – параллельная и последовательная – обладают фундаментальными ограничениями. Механические потери в параллельных системах: при параллельном соединении дизельного двигателя и электромотора через механическую муфту (например, коробку передач) частые переключения режимов требуют постоянной синхронизации частоты вращения и крутящего момента, что увеличивает потери в трансмиссии. Например, разница в скорости вращения в момент включения электродвигателя может привести к износу сцепления и снижению эффективности системы. Потери при двойном преобразовании энергии в последовательных системах: в технологии «дизель-генератор-электромотор» энергия претерпевает многократное преобразование (химическая → механическая → электрическая → механическая), что снижает общий КПД на 10–15 % по сравнению с параллельной схемой.

Эволюция топологии силовых систем направлена на преодоление этих ограничений и повышение эффективности.

Распределенная приводная конфигурация мотор-колес станет ключевым направлением развития гибридных силовых систем для горнотранспортной техники будущего. Эта технология предусматривает непосредственную интеграцию электродвигателей в ступицы колес, обеспечивая прямую передачу крутящего момента и повышение КПД трансмиссии. Кроме того, распределенная схема демонстрирует повышенную гибкость и адаптивность, позволяя независимо регулировать тяговое усилие каждого колеса в зависимости от эксплуатационных условий и нагрузки. Примером служит разработка Бао Цзюшэна [7] и коллег — гибридная система для тяжёлых угольных самосвалов с распределённым приводом. Благодаря модернизации гибридной системы и оптимизации алгоритмов управления, ключевые показатели транспортного средства (в сравнении с базовой моделью) продемонстрировали значительное улучшение.

Совершенствование водородной энергетической цепочки

В настоящее время технологии с нулевыми выбросами можно условно разделить на четыре направления: накопление энергии, водородная энергетика, биотопливо и улавливание углерода. При этом биотопливо и улавливание углерода в основном применяются для достижения нулевых выбросов в промышленном секторе, тогда как накопление энергии и водородная энергетика рассматриваются как перспективные технологии для транспорта. В области получения водорода ключевыми методами являются производство водорода из угля (газификация угля), паровой риформинг метана, а также электролиз воды с использованием возобновляемых источников энергии [8]. В угледобывающих регионах с богатыми запасами угля при-

менение технологии получения водорода из угля обладает значительными экономическими преимуществами. Замкнутая энергосистема с локальным производством водорода на месте станет одной из ключевых технологий устойчивого развития горнотранспортной техники. Организация производства водорода непосредственно в районе добычи угля позволяет реализовать автономное обеспечение водородной энергией, создать систему эффективного замкнутого использования энергоресурсов горного предприятия и сократить зависимость от традиционных источников энергии.

Заключение

Технологические ограничения гибридных карьерных самосвалов в настоящее время сосредоточены в таких областях, как аккумуляторные системы и управление энергопотоками, синергия силовых установок, а также применение водородных технологий. Для перспективного развития требуется комплексный прорыв по следующим направлениям: инновации в технологии управления энергией и батареях (например, системы динамического распределения энергии на базе глубокого обучения с подкреплением, твердотельные аккумуляторы), оптимизация гибридных силовых систем (включая распределённые приводные мотор-колёсы) и совершенствование водородной цепочки создания. Реализация этих мер позволит достичь всестороннего улучшения эксплуатационных характеристик, экономической эффективности и экологической безопасности гибридных карьерных самосвалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 胡格格. 露天矿超重型自卸车分布式混合动力系统设计及控制策略研究[D]. 中国矿业大学, 2022. (Ху Гэгэ. Проектирование распределённой гибридной энергетической системы и исследование стратегии управления для сверхтяжёлых самосвалов в открытых угольных разрезах [D] // Китайский университет горного дела и технологий. 2022.)
2. 何洪文, 孟祥飞. 混合动力电动汽车能量管理技术研究综述[J]. 北京理工大学学报, 2022, 42(8): 773-783. (Хэ Хунвэнь, Мэн Сяньфэй. Обзор технологий управления энергопотреблением гибридных электромобилей [J] // Вестник Пекинского технологического института. 2022. Т. 42, № 8. С. 773–783.)
3. Южаков Д. А., Матюха Е. В., Лагунова Ю. А. Пути повышения эффективности эксплуатации гибридной силовой установки карьерного самосвала в условиях низких температур // Уральская горная школа - регионам: материалы Международной научно-практической конференции, в рамках Уральской горнопромышленной декады, Екатеринбург, 08 апреля 2024 года. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2024. – С. 105-106.
4. Хазин М. Л. Направления развития карьерного автотранспорта // Недрапользование. – 2021. – Т. 21, № 3. – С. 144-150.
5. WANG Y, TAN H, WU Y, et al. Hybrid electric vehicle energy management with computer vision and deep reinforcement learning[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2020, 17 (6) : 3857 – 3868. (Ван Я., Тань Х., У Я. и др. Управление энергопотреблением гибридного электромобиля с использованием компьютерного зрения и глубокого обучения с подкреплением [J] // Труды IEEE по промышленной информатике. 2020. Т. 17, № 6. С. 3857–3868.)

6. 张卫,杨珏,张文明,等. 纯电动矿车复合能源系统研究[J]. 汽车工程,2019,41(6):641-646,653. (Чжан Вэй, Ян Цзюэ, Чжан Вэньмин и др. Исследование гибридной энергетической системы полностью электрического самосвала [J] // Автомобильная инженерия. 2019. Т. 41, № 6. С. 641–646, 653.)
7. 鲍久圣,邹学耀,陈超,等. 重型煤炭运输车分布式混合动力系统设计及控制策略[J]. 煤炭学报,2021,46(2):667-676. (Бао Цзюшэн, Цзоу Сюэяо, Чэнь Чао и др. Проектирование распределённой гибридной энергетической системы и стратегия управления для тяжелогрузного угольного автомобиля [J] // Уголь. 2021. Т. 46, № 2. С. 667–676.)
8. 李勇,杨珏,刘如成,等. 大型电动轮矿车节能及零排放技术路线[J]. 煤炭学报,2022,47(5):2120-2130. (Ли Юн, Ян Цзюэ, Лю Жучэн и др. Технологическая стратегия энергосбережения и нулевых выбросов для крупногабаритных электрических самосвалов [J] // Уголь. 2022. Т. 47, № 5. С. 2120–2130.)

УДК 622.621

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕМОНТА ВЕДУЩЕГО МОСТА АВТОСАМОСВАЛА БЕЛАЗ-7555

Плютов Ю.А., Траоре Б.

Сибирский федеральный университет; COBAD S.A., Гвинейская Республика

На горных предприятиях Ачинского глиноземного комбината проведен хронометраж демонтажа главной передачи и колесных передач карьерного автосамосвала БелАЗ-7555. Предложены приспособления, позволяющие сократить время технического обслуживания и ремонта ведущего моста большегрузного автомобиля.

Ключевые слова: Карьерный автосамосвал, ведущий мост, монтаж, демонтаж, съемник тормозного барабана, съемник водила с сателлитами

IMPROVING THE REPAIR OF THE DRIVE AXLE OF THE BelAZ-7555 DUMP TRUCK

Plyutov Yu.A., Traore B.

At the mining enterprises of the Achinsk Alumina Refinery, timing of the installation and dismantling of the main gear and wheel gears of the BelAZ-7555 mining dump truck was carried out. Devices have been proposed to reduce the time for maintenance and repair of the drive axle of a heavy-duty vehicle.

Keywords: Mining dump truck, drive axle, dismantling, brake drum puller, carrier puller with satellites.

Важнейшим направлением повышения эффективности эксплуатации горного оборудования является снижение времени его простоев, вызванных разными причинами, в том числе, проведением технических обслуживаний и ремонтов. На Мазульском и Кия-Шалтырском рудниках Ачинского глиноземного комбината нами был проведен хронометраж демонтажа ведущего моста карьерного автосамосвала БелАЗ-7555. Он состоит из центрального конического редуктора с дифференциалом (далее – главная передача), 2 колесных передач планетарного типа, расположенных в приводе каждого приводного колеса и картера моста с полуосями. Ведущая коническая шестерня главной передачи установлена консольно на 4 под-

шипниках. Ведомая коническая шестерня крепится к большой чашке дифференциала болтами со стопорными пластинами. Обе шестерни главной передачи подбираются и притираются парами, поэтому в случае поломки или износа одной из них их необходимо заменять комплектно. На главной передаче установлен тормозной механизм стояночной тормозной системы. Дифференциал находится в картере редуктора на 2 конических роликовых подшипниках и состоит из 2 чашек, скрепленных между собой болтами. В коробке, образуемой чашками, в плоскости их разъема установлена крестовина, на шипах которой на бронзовых втулках свободно вращаются четыре сателлита. Сателлиты находятся в зацеплении с полуосевыми шестернями. Колесная передача - планетарная, одноступенчатая с прямозубыми цилиндрическими шестернями. Ее ведущая шестерня жестко связана с полуосью через муфту при помощи шлицевого соединения и находится в зацеплении с 3 сдвоенными сателлитами, каждый из которых установлен на 2 сферических радиальных роликовых подшипниках. Сателлиты входят в зацепление с коронной шестерней, выполненной с внутренними зубьями. Крутящий момент от главной передачи через полуось и соединительную втулку передается на ведущую шестерню колесной передачи и далее на сателлиты, которые перекачиваются по неподвижно закрепленной на кожухе полуоси коронной шестерне и вращают водило, соединенное со ступицей колеса. В результате проведенного хронометража выяснилось, что на снятие колесных передач было затрачено 270 мин., на снятие главной передачи – 215 мин., а на разборку стояночного тормоза и снятие карданного вала – 73 мин. Таким образом, общее время демонтажа ведущего моста составило 558 мин.



Рис. 1. Съемник водила с сателлитами и способ его применения

При снятии колесных передач 39 % общего времени (105 мин.) заняла выпрессовка водила в сборе с сателлитами с помощью подъемного механизма. На снятие тормозного барабана при демонтаже главной передачи ушло 19 % общего времени (41 мин). В связи с этим для ускорения, облегчения и повышения безопасности этих работ были спроектированы 2 при-

способления и проведены их производственные испытания. Съемник водила с сателлитами представляет трубу диаметром 185 мм и длиной 600 мм с приваренными внутри двумя пластинами. Они предназначены для фиксации к вилочному погрузчику грузоподъемностью от 3 до 5т. Второй съемник имеет 8 отверстий под шпильки и устанавливается как фланец тормозного барабана (рис. 1,2). Эффективность этих приспособлений отражена в таблице.

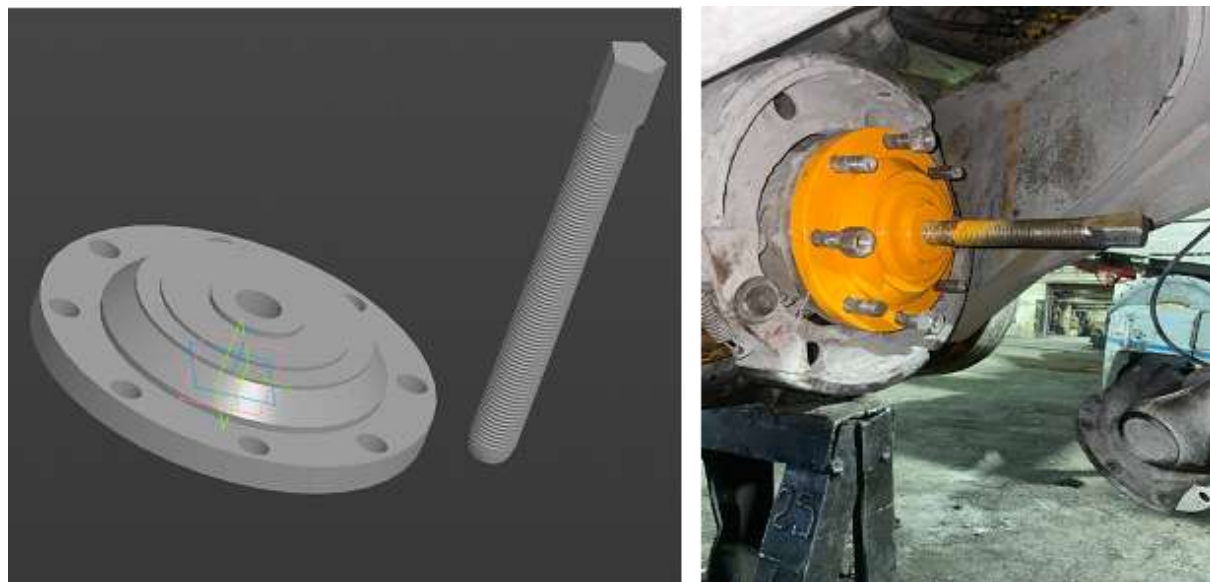


Рис. 2. Съемник тормозного барабана и способ его применения

Таблица

№	Операции	Время, мин.		
		Без приспособления	С приспособлением	Разница
1.	Снятие водило с сателлитами	105	35	70
2.	Снятие тормозного барабана	41	26	15

Сокращение продолжительности ремонтных работ на 85 мин. для каждого автосамосвала БелАЗ-7555 позволяет повысить коэффициент технической готовности машины, а значит, и ее надежность. Кроме демонтажа ведущего моста съемник водила с сателлитами может быть использован при замене тормозного диска и подшипников задней ступицы колеса, а также для устранения течи технической жидкости. Съемник тормозного барабана можно применить при заменах колодок ручного тормоза, верхнего и нижнего фланцев ГМП (гидромеханической передачи) и шпилек фланца РЗМ (редуктора заднего моста).

УДК 622.867.8

ПНЕВОТРАНСПОРТНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Потапов В.Я., проф., **Хазин М.Л.**, проф., **Архипов М.В.**, ст. пр. **Потапов В.В.**, доц.,
Парамонов К.А. маг.

Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

Пневматический транспорт из-за простоты и экономичности широко распространен в обогащательных процессах при транспортировании угля, породы, продуктов обогащения асбеста, мусковитовой, вермикулитовой руды и других рудных материалов различной крупности, формы и физических свойств. В статье произведен обзор существующих устройств пневмотранспорта с целью правильного выбора пневмотранспортной системы и устройств.

Ключевые слова: пневмотранспорт, классификации систем пневмотранспорта, установки нагнетающего типа, установки всасывающего типа, параметры работы пневмотранспортных систем.

PNEUMATIC CONVEYING SYSTEMS FOR MOVING BULK MATERIALS

Potapov V.Ya., Khazin M.L., Arkhipov M.V., Potapov V.V., Paramonov K.A.

Due to its simplicity and cost-effectiveness, pneumatic transport is widely used in processing processes for transporting coal, rock, asbestos processing products, muscovite, vermiculite ore and other ore materials of various sizes, shapes and physical properties. The article provides an overview of existing air transport devices in order to choose the right air transport system and devices.

Keywords: pneumatic transport, classifications of pneumatic transport systems, injection type installations, suction type installations, parameters of operation of pneumatic transport systems

Пневмотранспорт является одним из способов механизации и автоматизации перемещения насыпных материалов. Широкое распространение этот вид транспорта получил в середине XX в. Основные сферы применения пневмотранспортных установок [1-7]: строительная промышленность, сельское хозяйство, легкая промышленность, химическая промышленность, пищевая промышленность, металлургия, энергетика и т.д.

Многочисленные преимущества систем пневмотранспорта перед другими способами перемещения сыпучих материалов объясняют их широкое распространение. Наиболее существенными достоинствами являются: компактность, высокие гигиенические показатели, возможность полной автоматизации, возможность одновременно с транспортированием материала изменять его состояние (сушка, увлажнение и т.д.), простота обслуживания.

Процесс пневмотранспорта представляет собой движение по трубе двухфазного потока газ - твердые частицы. Для описания двухфазных потоков используют различные параметры, относящиеся как к сплошной среде (воздуху) и твердой фазе, так и по всему континууму в целом. Основные величины, характеризующие процесс пневмотранспорта, двухфазные потоки и их взаимосвязь: массовый расход твердой фазы, или производительность, кг/с., массовый расход воздуха (газа), объемный расход твердой фазы или производительность, объемный расход воздуха (газа), объемная расходная концентрация твердой фазы, удельный расход газа.

Существуют различные классификации систем пневмотранспорта: по направлению транспортирования; по крупности частиц; по характеру работы; по режимным параметрам

По направлению транспортирование может быть вертикальным, горизонтальным и наклонным. По размеру транспортируемых частиц пневмотранспорт подразделяют на пневмотранспорт пылевидного материала (диаметр частиц менее 1 мм) и пневмотранспорт сыпучего материала (гранулированного, кускового) (> 1 мм). По характеру работы пневмотранспорт может быть периодическим и непрерывным. В зависимости от режимных параметров существует классификация пневмотранспортных систем по различным признакам.

По способу воздействия воздуха все пневмотранспортные установки можно разделить на три основные группы (рис.1).

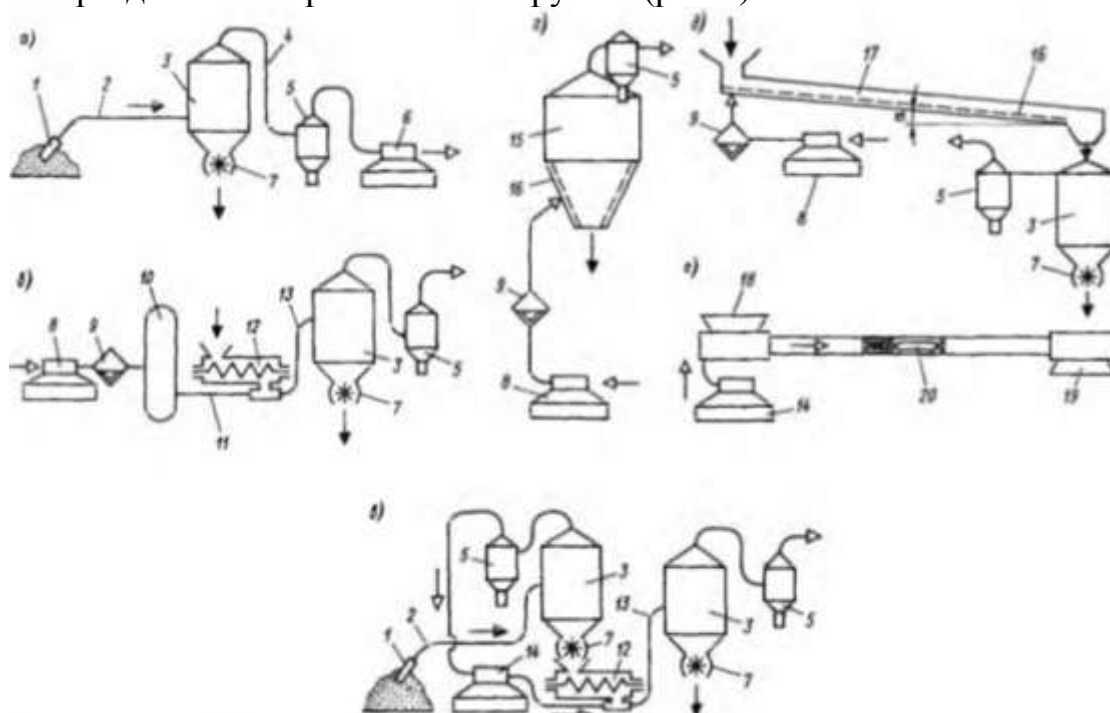


Рис. 1. Схемы пневмотранспортных установок

а - всасывающая; б - нагнетательная; в - всасывающе нагнетательная; г - аэрадионная - аэротранспортная; е - контейнерная; 1 - сопло; 2 - всасывающий материалопровод; 3 - осадитель (расходный бункер); 4 - трубопровод; 5 - пылеуловитель; 6 - побудитель тяги; 7 - затвор осадителя; 8 - воздуходувная машина (компрессор); 9 - маслоотделитель; 10 - воздухопровод; 11 - воздухопровод; 12 - питатель; 13 - нагнетательный трубопровод; 14 - вентилятор; 15 - силос; 16 - микропористая перегородка; 17 - аэрожелоб; 18 - загрузочная станция; 19 - разгрузочная станция; 20 - контейнер

К первой группе относятся пневмотранспортные установки, в которых сыпучий материал перемещается в потоке воздуха, т. е. на материал действуют силы давления.

В зависимости от статического давления различают следующие основные системы пневмотранспортных установок: всасывающие, нагнетательные и комбинированные. Установка всасывающего действия состоит из заборного устройства (сопла), системы трубопроводов, осадителя материала, пылеуловителей и побудителя тяги (вентилятора, вакуум-насоса),

который просасывает через всю установку воздух. Этот воздух, поступая в сопло, захватывает материал, принуждая его двигаться по системе трубопроводов; выделяется материал из потока в осадителе. Оставшиеся в воздухе мельчайшие пылинки улавливает пылеуловитель, а воздух затем через побудитель тяги выбрасывается в атмосферу. В установках всасывающего действия используется низкий (до 90 кПа), средний (до 70 кПа) и высокий (до 40 кПа) вакуум.

В пневматических установках нагнетательного действия трубопроводы и аппаратура находятся под избыточным давлением. Давление наиболее значительно в месте подключения трубопроводов к воздуходувной машине, где обычно материал загружается в пневмотранспортную установку специальным загрузителем: пневматическим винтовым насосом, камерным насосом и т. п. Сжатый воздух, подаваемый от компрессора, может переносить материал при высокой концентрации и на большие расстояния. Рабочее давление сжатого воздуха на входе в установку составляет 30 кПа, а в отдельных случаях – 500 - 600 кПа.

Установки комбинированного действия сочетают основные преимущества рассмотренных установок. В них использованы заборные устройства установок всасывающего действия, работающих без пылевыведения. В основном, наиболее протяженном, транспортном трубопроводе материал переносится под давлением при более высоких концентрациях. В небольших установках обе ветви (всасывающая и нагнетающая) могут работать от одного вентилятора. Осадитель всасывающей установки имеет в верхней части матерчатый фильтр, который не допускает попадания пыли в воздуходувную машину.

На рисунке 2 представлена схема классификации пневмотранспортных установок по статическому давлению. В зависимости от необходимого давления (разрежения) используется соответствующее тягодутьевое оборудование. В данную классификацию внесены небольшие изменения. Есть вентиляторы с напором более 10 кПа, кроме того, иногда соединяют два вентилятора последовательно. Поэтому граница режима пневмотранспортных систем с низким вакуумом и с низким давлением может быть увеличена до 15 кПа.

При работе воздуходувок в режиме всасывания многие из них развивают вакуум до 50 %. Поэтому пневмотранспортные установки, работающие с такими воздуходувками, также относятся к системам со средним вакуумом. На рисунке 3 показана схема пневмотранспортной установки всасывающего типа. Установка включает в себя заборное сопло 1, транспортный трубопровод 2, разгрузочное устройство - пылеуловитель 3, вакуум-насос 4.

В зависимости от располагаемого давления пневмотранспорт может осуществляться при высокой, средней и низкой расходной концентрации. В качестве границ интервалов предлагается следующая оценка: низкая концентрация $\mu=0-4$ кг/кг; средняя концентрация $\mu=4-20$ кг/кг; высокая

концентрация $\mu > 20$ кг/кг; плотная фаза характеризуется расходной концентрацией $\mu > 50\text{--}60$ кг/кг. Так как сыпучие материалы могут различаться по плотности в разы, то границы интервалов разбивки режимов могут смещаться в ту или иную сторону. И. М. Разумов предлагает следующее разделение режимов транспортирования в зависимости от объемной концентрации: низкая концентрация твердой фазы $\mu_v < 0,03\text{--}0,04$ м³/м³; средняя концентрация твердой фазы $0,03\text{--}0,04 < \mu_v < 0,1\text{--}0,12$ м³/м³; высокая концентрация твердой фазы $\mu_v > 0,1\text{--}0,12$ м³/м³.



Рис. 2. Схема классификации пневмотранспортных установок по статическому давлению

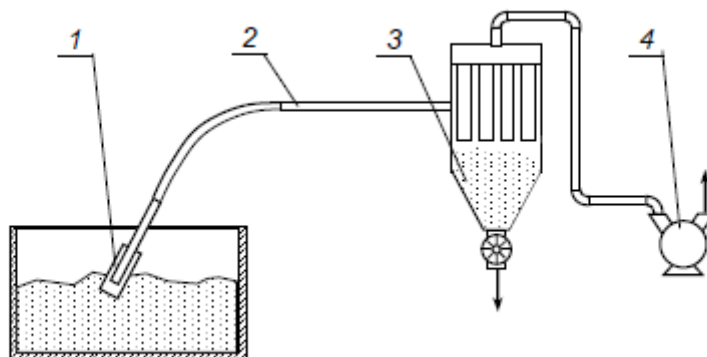


Рис. 3. Схема пневмотранспортной установки всасывающего типа

На рисунке 4 показана схема пневмотранспортной установки нагнетающего типа с использованием пневмовинтового насоса. Установка

включает в себя пневмовинтовой насос *1*, узел подвода сжатого воздуха *2*, транспортный трубопровод *3*, приемный бункер *4*, рукавный фильтр *5*. Известно, что в рабочей камере пневмовинтовых насосов (ПВН) избыточное давление сжатого воздуха, как правило, не превышает 1,5 атм. Поэтому, несмотря на то, что они работают с использованием компрессорного воздуха, такие системы следует отнести к системам со средним давлением непрерывного действия.

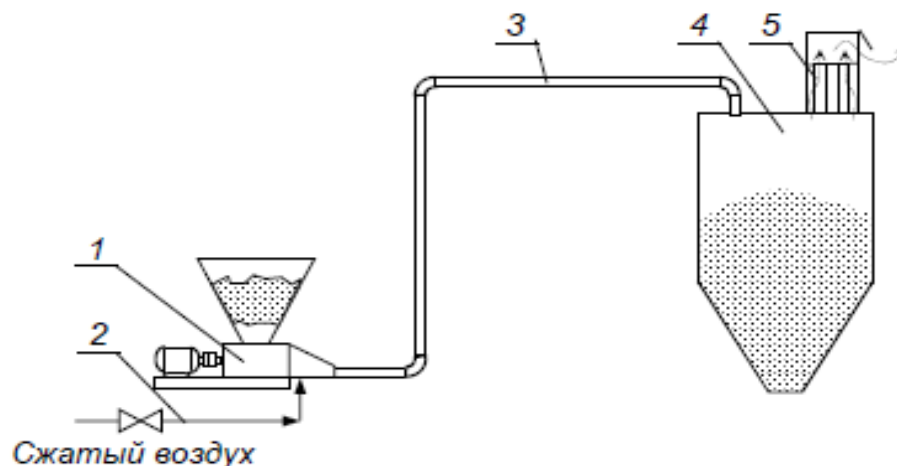


Рис. 4. Схема пневмотранспортной установки нагнетающего типа на базе пневмовинтового насоса

На рисунке 5 показана схема пневмотранспортной установки нагнетающего типа с использованием пневмокамерного насоса (ПКН). Установка включает в себя пневмокамерный насос *1*, узел подвода сжатого воздуха *2*, транспортный трубопровод *3*, приемный бункер *4*, рукавный фильтр *5*. Пневмокамерный насос представляет собой сосуд высокого давления. Избыточное давление в сосуде зависит от сопротивления транспортного тракта и находится в диапазоне 2-5 атм. Сопротивление транспортного тракта определяется его длиной, расходом воздуха и расходной концентрацией. Такую систему следует отнести к высоконапорному пневмотранспорту периодического действия.

На рисунке 6 показана схема пневмотранспортной установки комбинированного типа. Установка включает в себя заборное сопло *1*, транспортный трубопровод *2*, разгрузочное устройство *3*, струйный насос *4*, приемный бункер *5*, рукавный фильтр *6*.

Большинство пневмотранспортных систем, как правило, включают в себя несколько единиц оборудования: устройство подачи сыпучего материала, устройство подвода воздуха или тягодутьевое оборудование, транспортирующее оборудование, транспортный трубопровод, разгрузочное устройство, оборудование для очистки.

Основными параметрами, характеризующими работу пневмотранспортных систем, являются: производительность G_t , кг/с или т/ч по твердой фазе, массовый расход сжатого воздуха G , кг/с, удельный расход сжатого воздуха Q_y , м³/т, расходная концентрация материала μ , кг/, давление p_k

подводимого воздуха, МПа., а также аэродинамические характеристики частиц, обладающих «парусностью». С учетом этих параметров в работах отечественных и зарубежных ученых [8...10] представлены данные по изучению аэродинамических характеристик частиц и математические модели движения частицы в пневмотранспортных установках.

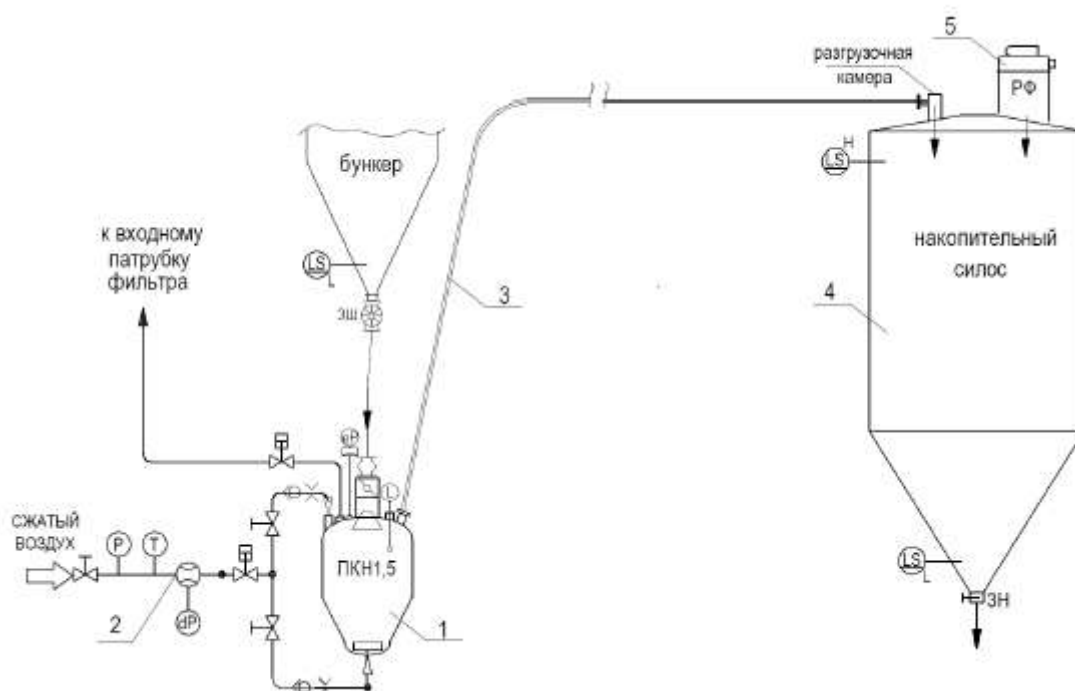


Рис. 5. Схема пневмотранспортной установки нагнетающего типа на базе пневмокамерного насоса

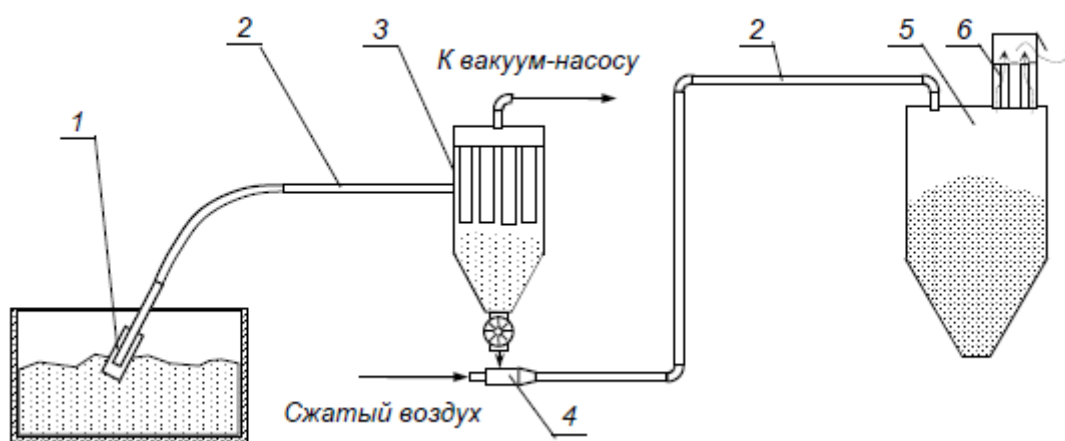


Рис. 6. Схема пневмотранспортной установки комбинированного типа

Выводы:

1. Для правильного выбора пневмотранспортной системы и устройств необходимо знать объем перекачиваемого материала или производительность.
2. Геометрию трассы (длина и высота транспортирования, радиус и число колен).

3. Для оценки эффективности работы пневмотранспортных систем в качестве оценки применяют значение удельного расхода сжатого воздуха на транспортировку частиц обладающих «парусностью».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Потапов В. Я., Афанасьев А. И., Потапов В. В., Анохин П. М., Кузнецов А. М. Аппараты для разделения горных пород с использованием воздуха XIII Международная научно-техническая конференция «Инновационные геотех-нологии при разработке рудных и нерудных месторождений», г. Екатеринбург, 4-5 апреля 2024 г. (Уральская горнопромышленная декада, г. Екатеринбург, 1-10 апреля 2024 г.): сборник докладов / Оргкомитет: Н. Г. Валиев (отв. за выпуск) и др.; Урал. гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2024. – С.113-120
2. Устройство для пневмоподъема сыпучих материалов с повышенной концентрацией в газовой смеси Афанасьев А.И., Потапов В.Я., Потапов В.В., Костюк П.А., Адам В.Е., Степаненков Д.Д., Парамонова А.А., Гребенкин С.М. Патент на изобретение RU 2821022 С1, 17.06.2024. Заявка от 08.11.2023.
3. Устройство для подъема сыпучих материалов с повышенной концентрацией в газовой смеси. Костюк П.А., Потапов В.Я., Потапов В.В., Афанасьев А.И., Адам В.Е. патент на изобретение ru 2772352 с1, 19.05.2022. заявка № 2021136417 от 10.12.2021.
4. Math modeling of particle movements in a friction separator Potapov, V., Afanasyev, A., Potapov, V., Frolov, S., Franyuk, E. (2020) E3S Web of Conferences, 177, статья № 03001.
5. Афанасьев А.И., Потапов В.Я., Потапов В.В., Степаненко Д.Д., Гребенкин С.М., Соколов Р.В. Математическая модель движения частицы в аэродинамически активном барабанно-полочном сепараторе // Математическое моделирование механических явлений. Материалы Всероссийской научно-технической конференции. Памяти доцента Г. Э. Вебера. Екатеринбург, 2023. С. 21-31.
6. Изучение аэродинамических характеристик частиц, обладающих парусностью с целью создания пневмотранспортных систем. Потапов В.Я., Макаров В.Н., Анохин П.М., Потапов В.В., Костюк П.А., Степаненков Д.Д. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. № 5. С. 139-144.
7. Имитационная модель пневмоподъемника. Костюк П.А., Афанасьев А.И., Потапов В.Я., Потапов В.В. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. № S9. С. 78-84.
8. New developments in pneumatic delivery of building material binders and inert additives. Davydov S.Y., Apakashev R.A., Valiev N.G., Kostyuk P.A. Refractories and Industrial Ceramics. 2021. T. 61. № 6. С. 626-630
9. Chandana, Ratnayake A Comprehensive Scaling Up Technique for Pneumatic Transport Systems / Ratnayake Chandana. - Norwegian University of Science and Technology, 2005. - 279 s.
10. Mills, D. Handbook of Pneumatic Conveying Engineering / D.Mills, M.G. Jones, V.K. Agarwal // Marcel Dekker, Inc. - 2004. - 695 p.
11. Moaveni S. Finite Element Analysis Theory and Application with ANSYS. - 2008. - 880 s.

УДК 621.87

КИНЕМАТИКА ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Раевская Л. Т., к. ф-м. н, доцент, Светоносова М. А., магистрант
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург

Получены аналитические соотношения для скорости точки подвеса груза манипулятора. Проведен кинематический анализ движения точки подвеса захвата кран-манипулятора для разных сочетаний степеней свободы. Даны практические рекомендации управления манипулятором.

Ключевые слова: кран-манипулятор, скорость груза, степени свободы

KINEMATICS OF LIFTING MECHANISMS

L. T. Raevskaia, M. A. Svetonosova

Analytical relations for the velocity of the point of a manipulator suspension of the load are obtained. A kinematic analysis of the movement of the suspension point of a crane manipulator for different combinations of a freedom degrees is carried out. Practical recommendations for manipulator control are offered.

Keywords: crane manipulator, load speed, degrees of freedom.

В настоящее время развитие горной промышленности РФ требует разработки унифицированных транспортно-перегрузочных устройств. Этим требованиям более всего отвечают промышленные кран-манипуляторы. Манипулятор представляет собой пространственный механизм с несколькими степенями свободы, который может монтироваться, например, на базе КАМАЗ (рис. 1) или других устройствах (рис. 2).



Рис. 1. Манипулятор на базе КАМАЗ



Рис.2. Манипулятор класса БЕЛМАШ

Общей особенностью манипуляторов является низкая металлоемкость, простота обслуживания и наличие широкого набора сменных рабочих органов, что позволяет использовать их практически на любых операциях технологического процесса горной промышленности. При этом проектируемый манипулятор должен обладать следующими свойствами: высокой надежностью, малым общим весом, «достаточной рабочей зоной и хорошими траекториями движений элементов манипулятора» [1] и т. д. Машины манипуляторного типа имеют механизмы с открытой кинематической цепью и несколькими степенями подвижности. Элементы манипулятора – стойка, стрела, рукоять, грейфер и т. д. - соединены друг с другом посредством кинематических пар – вращательных или поступательных (рис. 1). Основными характеристиками кран-манипуляторов являются максимальный вылет стрелы и грузоподъемность на максимальном и минимальном вылетах. Например, для модели, показанной на рис. 1, б эти ха-

рактические характеристики имеют значения 8,6 м, 2910 кг и 1100 кг, соответственно [2]. Движущее усилие силового гидроцилиндра механизма подъема стрелы зависит от положения стрелы и может меняться в 4-6 раз [3]. Движение груза определяется перемещением звеньев стрела-рукоять. Работы по анализу и синтезу манипуляторов, например, по энергоэффективным конструкциям гидропривода [4] или поиска экстремальных значений скорости груза до сих пор являются актуальными задачами. Ранее было проведено исследование манипуляторного механизма [5] по определению закона движения точки подвеса захвата манипулятора, в котором не рассматривались все частные случаи. В настоящей работе поставлена задача определения всех возможных частных случаев для скорости груза – точки B (рис. 2). Учтено не только вращение вокруг вертикальной оси (рис. 2, а), но и изменение угла между стрелой (l_1) и рукоятью (l_2) (рис. 2, б).

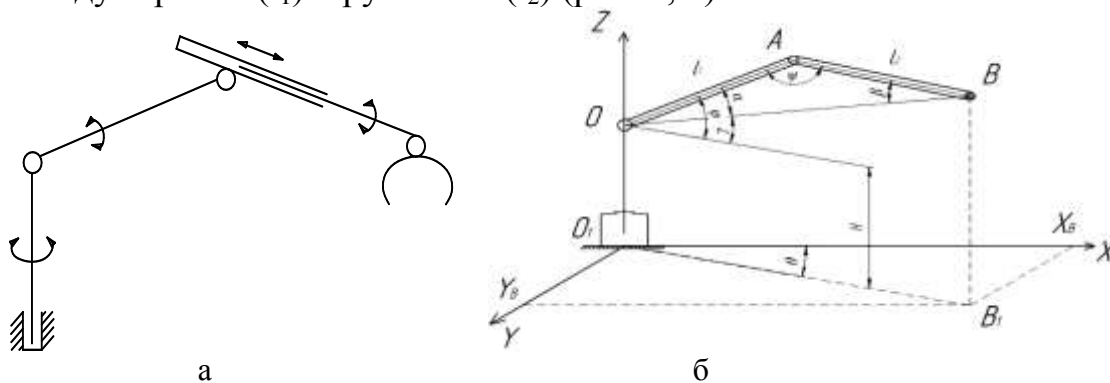


Рис. 2. Компоновочно-кинематическая схема манипулятора:

а – комбинированная конструкция манипулятора, б – расчетная схема

Переход от технического объекта к расчетной схеме изображен на рис. 2. На схеме не показаны гидроцилиндры, стойка и другие, незначительные для исследования кинематики, звенья. Координаты – X_B , Y_B , Z_B – позволяют определить главные геометрические параметры рабочего процесса перемещения точки B подвеса груза. Пусть все звенья манипулятора являются абсолютно твердыми. В этом случае для груза B манипулятор будет являться голономной связью. Поскольку координаты точки B зависят от времени, то эта связь будет нестационарной. Будем считать ее идеальной, т. е. работой всех реакций на заданных возможных перемещениях системы пренебрегаем. Перемещения – это изменения углов γ , θ , ψ . Пусть в данный момент времени l_1 – длина стрелы OA и l_2 – длина рукояти AB (рис. 2) постоянны. Получим соотношение для скорости V_B . Поскольку известны соотношения для координат $X_B(t) = OB \cos \theta \cos \gamma$; $Y_B(t) = OB \sin \theta \cos \gamma$; $Z_B(t) = OB \sin \gamma + H$, и длина $OB = (l_1^2 + l_2^2 - 2l_1l_2 \cos \psi(t))^{1/2}$, то для координатных составляющих скорости V_B запишем

$$X_B'(t) = -OB[\sin \theta \cos \gamma * \omega_2 + \sin \gamma \cos \theta * \omega_1] + \cos \gamma \cos \theta * \omega_3 l_1 l_2 \sin \psi / OB, \quad (1)$$

$$Y_B'(t) = OB[\cos \theta \cos \gamma * \omega_2 - \sin \gamma \sin \theta * \omega_1] + \cos \gamma \sin \theta * \omega_3 l_1 l_2 \sin \psi / OB, \quad (2)$$

$$Z_B'(t) = OB \cos \gamma * \omega_1 + \sin \gamma * \omega_3 l_1 l_2 \sin \psi / OB. \quad (3)$$

Здесь приняты следующие обозначения ω_1 – угловая скорость вращения стрелы (γ') в вертикальной плоскости, ω_2 – угловая скорость поворота ма-

нипулятора вокруг стойки (θ'), ω_3 – угловая скорость поворота рукояти относительно стрелы (ψ') в вертикальной плоскости, $OB' = \omega_3 l_1 l_2 \sin \psi / OB$.

Абсолютная скорость точки B с учетом (1) – (3) получается в виде:

$$V_B = \{ \cos^2(\omega_1 t) \omega_2^2 + \omega_1^2 + \omega_3^2 [l_1 l_2 \sin(\omega_3 t) / (l_1^2 + l_2^2 - 2l_1 l_2 \cos(\omega_3 t))]^2 \}^{1/2}. \quad (4)$$

Из результата (4) можно получить все частные случаи для скорости точки подвеса груза, перебирая варианты согласно данным таблицы 1.

Таблица 1

ω_1	1	0	1	0	1	0	1
ω_2	1	1	0	0	1	1	0
ω_3	1	1	1	1	0	0	0

Первый столбец (набор 1 1 1) соответствует скорости, полученной в результате расчета с учетом всех степеней свободы, т. е. формуле (4). Цифра 1 означает, что есть соответствующее вращение, ноль – вращения нет. Далее рассмотрим все возможные варианты изменения скорости V точки B .

1. Стрела в вертикальной плоскости не вращается, но движется вокруг стойки, рукоять относительно стрелы вращается в вертикальной плоскости ($\omega_1=0$, $\omega_2 \neq 0$, $\omega_3 \neq 0$)

$$V_B = \{ \cos^2(\gamma) \omega_2^2 + \omega_3^2 [l_1 l_2 \sin(\omega_3 t) / (l_1^2 + l_2^2 - 2l_1 l_2 \cos(\omega_3 t))]^2 \}^{1/2}.$$

2. Нет вращения относительно стойки, но в вертикальной плоскости движутся стрела и рукоять относительно стрелы ($\omega_1 \neq 0$, $\omega_2=0$, $\omega_3 \neq 0$)

$$V_B = [\omega_1^2 + \omega_3^2 (l_1 l_2 \sin(\omega_3 t) / OB^2)^2]^{1/2}.$$

3. Есть только вращение рукояти относительно стрелы в вертикальной плоскости ($\omega_1=0$, $\omega_2=0$, $\omega_3 \neq 0$)

$$V_B = OB \omega_3 (l_1 l_2 \sin(\omega_3 t) / OB^2).$$

4. Рукоять неподвижна относительно стрелы, но вместе со стрелой вращается в вертикальной плоскости и одновременно вокруг стойки ($\omega_1 \neq 0$, $\omega_2 \neq 0$, $\omega_3=0$). Результат совпадает с полученным ранее в работе [5]

$$V_B = \{ \cos^2(\omega_1 t) \omega_2^2 + \omega_1^2 \}^{1/2}.$$

5. Есть только вращение относительно стойки ($\omega_1=0$, $\omega_2 \neq 0$, $\omega_3=0$), тогда

$$V_B = OB \cos \gamma \omega_2, \text{ где угол наклона линии } OB \text{ к горизонту } - \gamma - \text{ постоянен; при горизонтальном расположении стрелы с рукоятью получаем } V_B = OB \omega_2.$$

6. Стрела с рукоятью как одно целое поворачивается в вертикальной плоскости ($\omega_1 \neq 0$, $\omega_2=0$, $\omega_3=0$), то $V_B = OB \omega_1$. Для примера проанализируем вариант 4. Получим результаты $V_B(t, \omega_1)$ при $\omega_2=0,1$ рад/с, $OB=6$ м, угол между стрелой и рукоятью постоянен. При $\omega_1 = 0$ рад/с из соотношения (4) следует, что V_B груза постоянна и равна $V_B = \omega_2 * OB = 0,6$ м/с, что соответствует значению на графике (рис. 3). При добавлении вращения в вертикальной плоскости ($\omega_1 \neq 0$, $\omega_2 \neq 0$), и значении времени $t = 5$ с, получаем из вышеупомянутого результата варианта 4 – $V_B = 3,04$ м/с (рис. 3). Появление минимума скорости V_B при малых величинах угловой скорости подъема связано с переходным процессом [6], когда стрела начинает дополнительное движение в вертикальной плоскости. Анализ на экстремум линейной скорости $V_B(\omega_1)$ при значениях $t=5$ с, $OB=6$ м, например, показал, что при

$\omega_2 = 0,2$ рад/с и менее достигается минимум V_B вблизи ω_1 , равном приблизительно 0,19 рад/с.

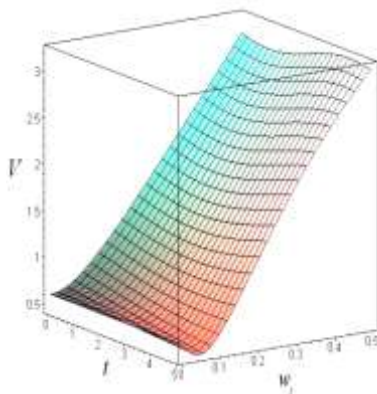


Рис. 3. Зависимость V_B от времени и угловой скорости ω_1

Анализируя графики можно сказать, что для увеличения производительности работы манипулятора при установившейся скорости в горизонтальной плоскости, следует быстрее проходить диапазон угловой скорости ω_1 от 0 до 0,4-0,5 рад/с. В этом случае при начале движения в вертикальной плоскости достигаются наибольшие значения V_B . Время цикла можно сократить, реализуя максимальные скорости и ускорения и выбирая наиболее оптимальные маршруты транспортировки грузов. Дальнейшее исследование кинематических характеристик является актуальной задачей.

Список литературы

1. Герасимов Ю. Ю. Проектирование и расчет манипуляторов лесных машин / Ю. Ю. Герасимов, В. С. Сюнев, А. П. Соколов, С. А. Кильпеляйнен. Учеб. пособие. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2006. 92 с.
2. Вишневский Д. Универсальный грузчик / Д. Вишневский. Обзор краново-манипуляторных установок. Основные средства №12, 2019. –Электронный ресурс. <https://os1.ru/article/24493-obzor-kranovo-manipulyatornyh-ustanovok-universalniy-gruzchik> (Дата доступа 20.01.2025).
3. Берестов Е. И. Гидропривод строительных и дорожных машин / Е. И. Берестов. – Могилев: Изд-во БРУ, 2007. 214 с.
4. Лагереv А. В. Конструкция и оценка эксплуатационных характеристик энергоэффективной крано-манипуляторной установки для мобильных транспортно-технологических машин / А. В. Лагереv, И. А. Лагереv.- Научно-технический Вестник Брянского государственного университета №4, 2019.- С. 450-461.
5. Дахиев Ф. Ф. Кинематические характеристики машин манипуляторного типа в лесной отрасли/ Ф. Ф. Дахиев, Л. Т. Раевская. - Научное творчество молодежи - лесному комплексу России: матер. VII Всерос. науч.-техн. конф. УГЛТУ. Екатеринбург, 2011. – Ч.1. С. 25-26.
6. Дахиев Ф. Ф. Переходные процессы в манипуляторах/ Ф. Ф. Дахиев, Л. Т. Раевская. - Актуальные вопросы образования и науки: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 30 сентября 2014 г.: в 11 частях. Часть 8. Тамбов: 2014. 164 с. С. 57-58.

УДК 622.6

К ВОПРОСУ О КОЛЕБАНИЯХ В ПОДВЕСКЕ ТЯЖЕЛОГО РУДНИЧНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА

Серебренников Н.Е., магистрант
НИТУ МИСИС, Горный институт, г. Москва, Россия

В работе рассмотрены основные направления исследований в области горных машин. Отмечены проблемы, возникающие при увеличении производительности рудничного рельсового транспорта. Предложена схема моделирования движения тяжелого рудничного электровоза при движении через рельсовые стыки с учетом характеристик подвески.

Ключевые слова: транспорт, рудничный электровоз, подвеска

ON THE ISSUE OF VIBRATIONS IN THE SUSPENSION OF A HEAVY MINING ELECTRIC LOCOMOTIVE.

Serebrennikov N.E.

The article discusses the main areas of research in the field of mining machinery. The problems that arise when increasing the productivity of mine rail transport are noted. A scheme for modeling the movement of a heavy mine electric locomotive through rail joints is proposed, taking into account the characteristics of the suspension.

Keywords: transport, mining electric locomotive, suspension

Развитие технологии добычи полезных ископаемых [1] зачастую направлено на рост производительности и на повышение отказоустойчивости горных машин и шахтного оборудования [2], а также средств для транспортировки горной породы, полезных ископаемых и шахтного персонала [3]. При этом важным направлением в повышении эффективности технологических процессов горнодобывающих предприятий является модернизация стационарного оборудования для водоотлива, подъема и обеспечения проветривания горных выработок [4].

Интенсификация горных работ не может быть осуществлена без обеспечения высоких темпов проходки горных выработок, что поддерживается современным проходческим оборудованием [5], надежными буровыми установками при обеспечении надежного крепления кровли и защиты персонала от ее обрушения при проходческих и очистных работах [6].

Логистические системы горнодобывающих предприятий на сегодняшний день претерпевают изменения в сторону предпочтения циклично-поточных технологий, при которых обеспечивается эффективное объединение циклических видов транспорта (локомотивная откатка, скреперы, автосамосвалы и др.) с конвейерами различных типов [7]. Это приводит к улучшению эксплуатационных и производственных характеристик транспортного оборудования [8], к внедрению новых типов конвейеров [9] и их отдельных компонентов и узлов, таких как приводные устройства [10, 11], роликоопоры [9] и др.

Стоит отметить, что особо важно рассматривать горное предприятие комплексно и уделять особое внимание подбору различных типов горных и транспортных машин. Оптимальный выбор типа транспортной системы для горного предприятия является одним из важнейших факторов, обеспе-

чивающих его эффективность. Необходимо учитывать все особенности рельефа, способ и объем добычи полезных ископаемых для оценки целесообразности использования тех или иных видов транспорта. Нельзя не учитывать уже имеющиеся на горном предприятии виды транспорта.

Несмотря на то, что конвейерный транспорт, как показывает практика, является наиболее производительным, не снижается доля эксплуатации рудничного рельсового транспорта [10, 11]. Кроме того, многие предприятия заинтересованы в увеличении грузоподъемности и производительности локомотивной откатки. Например, на рудниках компании Норникель стали применяться 20-тонные электровозы чешского производства, а самый тяжелый отечественный рудничный электровоз имеет сцепной вес 17 тонн [12].

Однако при повышении сцепного веса локомотива проявляется такая проблема как ускоренный износ рельсового полотна. Есть замечания и по поводу условий труда машиниста: подвеска на электровозах чешского производства резинометаллическая, а не пружинная как на более легких электровозах отечественного производства, что приводит к сильным вибрациям и тряске в кабине при прохождении рельсовых стыков. Следует отметить, что эти факты негативно сказываются на подвеске и других узлах локомотива ввиду возможности возникновения резонансных явлений при движении локомотива по стыкам рельсов.

Для оценки динамических явлений в горно-шахтном оборудовании часто используют методы математического моделирования с применением численных методов решения в современных компьютерных пакетах программ [13].

С целью изучения колебаний при движении рудничного электровоза, была составлена математическая модель подвески электровоза с учетом жесткости и вязкости элементов подвески.

Структурная модель проезда электровоза по стыку была составлена в программном пакете Simulink (рисунок 1). Применение полученной модели позволяет получить данные о вертикальных перемещениях, скорости и ускорениях подрессоренной части электровоза в точке над осью при движении локомотива по стыкам рельсов. Для моделирования рассматривался электровоз с параметрами 20-тонного электровоза Ferrit TLP 120 F.

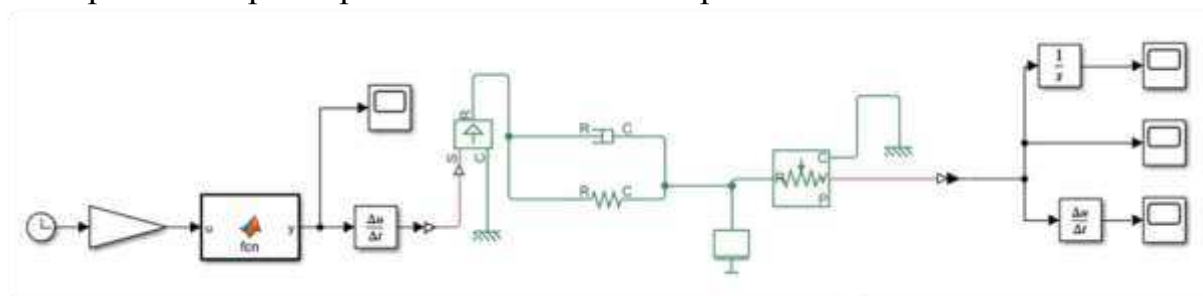


Рисунок 1 – Структурная модель

В ходе моделирования были получены данные о максимальном вертикальном ускорении подрессоренной части локомотива в точке над осью

от времени при различных скоростях движения электровоза от 1 до 3.33 м/с (рисунок 2).

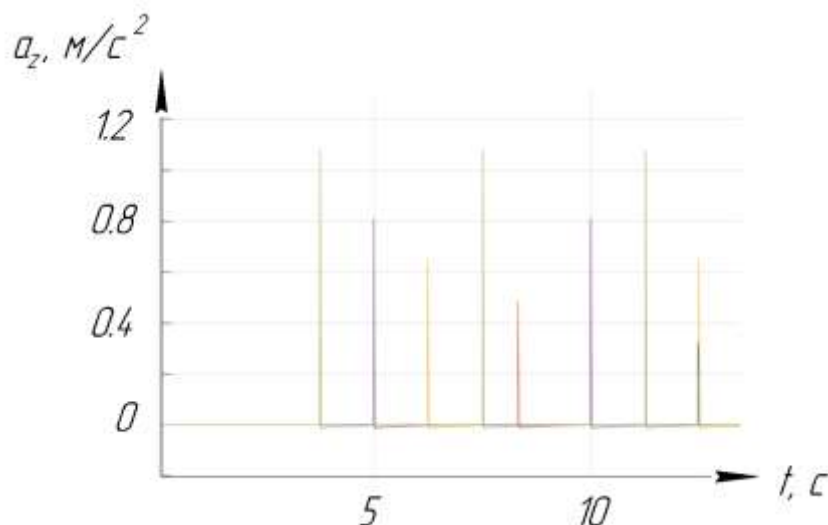


Рисунок 2 – Максимальное вертикальное ускорение поддрессоренной части локомотива в точке над осью при различных скоростях движения электровоза от 1 до 3,33 м/с

При оценке результатов моделирования следует учитывать, что для рудничной локомотивной откатки приняты следующие ограничения по скорости и ускорению рабочего места машиниста: 0,0179 м/с и 0,355 м/с². Исходя из этих крайних значений, при помощи моделирования следует определять предельные скорости движения локомотива, максимальные значения стыков и расстояния между ними.

Заключение

Из полученных результатов можно сделать следующий вывод: увеличение сцепного веса локомотива до 20-30 тонн может быть реализовано при сохранении пружинной или комбинированной подвески. При этом увеличение нагрузки на ось влечет за собой ускоренный износ рельсового пути, в связи с чем, необходимо рассматривать для тяжелых электровозов увеличение количества их осей.

Список литературы

1. Сукманов, А. И. Методика оценки состояния очистного комплекса шахты / А. И. Сукманов, В. В. Зотов, С. С. Кубрин // Уголь. – 2012. – № 11(1040). – С. 14-18.
2. Повышение ресурса рабочих колес центробежных насосов шахтного водоотлива / В. В. Зотов, В. У. Мнацаканян, М. М. Базлин [и др.] // Горная промышленность. – 2024. – № 2. – С. 143-146. – DOI 10.30686/1609-9192-2024-2-143-146.
3. Перекутнев, В. Е. Моделирование приводных шкивов подъемных установок с резинотросовыми канатами / В. Е. Перекутнев, В. В. Зотов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – № 6. – С. 105-114. – DOI 10.25018/0236-1493-2020-6-0-105-114.
4. Дьяченко, В. П. Корреляционная функция и спектральная плотность случайных колебаний количества груза на конвейере / В. П. Дьяченко // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2021. – № 1(9). – С. 40-47. – DOI 10.46573/2658-5030-2021-1-40-47.

5. Дьяченко, В. П. Особенности деформации желобчатой конвейерной ленты при малых натяжениях / В. П. Дьяченко // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2020. – № 4(8). – С. 46-53. – DOI 10.46573/2658-5030-2020-4-46-53.
6. Сазанкова, Е. С. Арамидные конвейерные ленты как альтернатива резинотросовым / Е. С. Сазанкова, И. А. Бердюгин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2023. – № 12. – С. 111-122. – DOI 10.25018/0236_1493_2023_12_0_111.
7. Тарамов, Ю. Х. Метод повышения эффективности и долговечности привода конвейера за счет использования энергии маховика / Ю. Х. Тарамов, А. Е. Кривенко, В. В. Зотов // Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты : Материалы международной научно-практической on-line конференции, Казань, 16 апреля 2024 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2024. – С. 139-144.
8. Галкин, В. И. Обоснование конструктивных параметров линейной вантовой секции подвесного канатного конвейера типа горесон® / В. И. Галкин, М. О. Доблер, В. П. Дьяченко // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2023. – № 11. – С. 115-127. – DOI 10.25018/0236_1493_2023_11_0_115.
9. Зиборов, К. А. Влияние конструкции ходовой части и привода шахтного рельсового транспорта на износ пары колесо-рельс / К. А. Зиборов, С. А. Федоряченко, Г. К. Ванжа // Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта. – 2014. – № 1(1). – С. 109-115.
10. Синчук, О. Н. Переходные процессы электроприводы асинхронного электропривода шахтного электровоза при его питании от реальной системы электроснабжения / О. Н. Синчук, А. Б. Семочкин, В. А. Федотов // Электротехнические и компьютерные системы. – 2014. – № 15(91). – С. 201-204.
11. Серебренников, Н. Е. К вопросу о разработке тяжелого электровоза для подземной откатки / Н. Е. Серебренников, В. В. Зотов // Перспективы инновационного развития угольных регионов России: Сборник трудов IX Международной научно-практической конференции, Прокопьевск, 25–26 апреля 2024 года. – Прокопьевск: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2024. – С. 110-113.
12. Зотов, В. В. Математическая модель подъемной установки с резинотросовой лентой / В. В. Зотов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № S16. – С. 300-309.
13. Зотов, В. В. Методы устранения смещения ленточного тягового органа на приводном барабане подъемной установки / В. В. Зотов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – № 11. – С. 269-275.

УДК 656.073

ОБЗОР ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НЕСУЩИХ СИСТЕМ (РАМ) КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ

Хорошавин С.А.^{1,2}, доцент, Борисова Ю.А.¹, магистрант.

¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ

²ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, РФ

Приведен обзор конструкций несущих систем (рам) карьерного самосвала, раскрыты основные проблемы эксплуатации и недостатки конструкций, предложены варианты усовершенствования несущих систем, направленные на равномерное распределение нагрузок, повышение надежности и прочности.

Ключевые слова: карьерный самосвал, патентные исследования, несущие системы (рамы), технические решения.

OVERVIEW OF TECHNICAL SOLUTIONS FOR LOAD-BEARING SYSTEMS (FRAMES) OF MINING DUMP TRUCKS

Khoroshavin S.A., Borisova Y.A.

An overview of the designs of the load-bearing systems (frames) of a dump truck is given, the main problems of operation and design flaws are disclosed, options for improving bearing systems aimed at uniform load distribution, increasing reliability and strength are proposed.

Key words: mining dump truck, patent research, load-bearing systems (frames), technical solutions.

Рамы современных карьерных самосвалов представляют собой высоконагруженные несущие конструкции, к которым предъявляются противоречивые требования по снижению металлоемкости и повышению надежности (предотвращение опрокидывания самосвала на этапе выгрузки груза). Основными дефектами рамы, возникающими в процессе эксплуатации карьерного самосвала, является появление деформаций и трещин. Систематическое возникновение случаев трещинообразования может привести к разрушениям рам, а также влекут за собой значительные материальные потери как из-за снижения объемов транспортирования полезного ископаемого, так и из-за большой стоимости ремонта крупногабаритных узлов и конструкций.

Рассмотрены зарубежные патенты, направленные на совершенствование технических решений уже существующих конструкций несущих рам.

US3977489. Согласно рис. 1 каркас рамы включает пару продольно расположенных, разнесенных по бокам основных боковых направляющих и надстройку, которая обеспечивает верхнюю, поперечную мостовую конструкцию, соединяющую боковые направляющие, чтобы добавить поперечную жесткость. Надстройка также обеспечивает радиальную поддержку верхних концов стоек, чтобы минимизировать скручивание основных боковых направляющих моментными нагрузками, создаваемыми колесами, а также поддерживает конструкцию защиты кабины карьерного самосвала от опрокидывания, что минимизирует передачу серьезных ударных нагрузок в случае опрокидывания на основную раму.

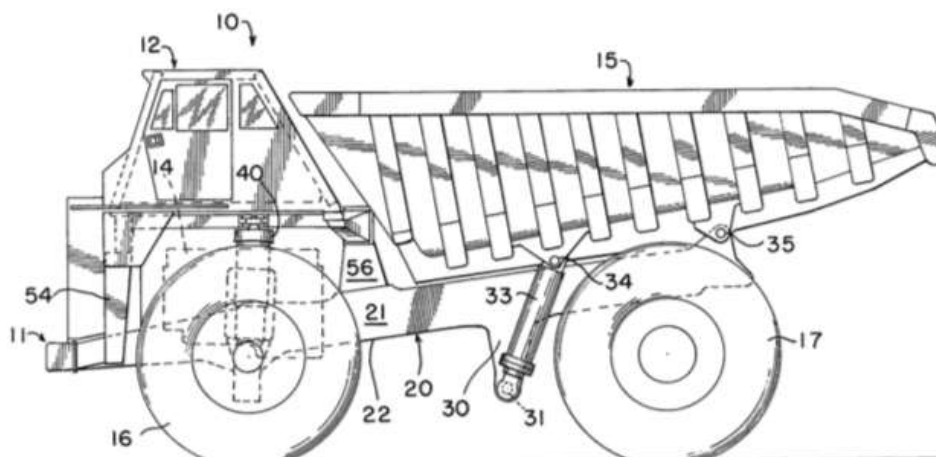


Рис. 1. Общий вид самосвала, воплощающий принципы изобретения.

10 – карьерный самосвал; 11 – шасси; 12 – кабина; 14 – двигатель; 15 – кузов; 16, 17 – колёса; 20 – каркас рамы; 21 – основная рама; 22 – боковая направляющая; 30 – пара ножек; 31 – цапфа; 33 – домкрат; 34, 35 – точки соединения; 40 – стойка; 54 – передний пилон; 56 – задний пилон.

US7980594. Изобретение (рис. 2) обеспечивает универсальную раму шасси, сконструированную из ряда подсекций, каждая из которых может иметь определенную ширину, адаптированную к одной или нескольким конкретным функциям транспортного средства.

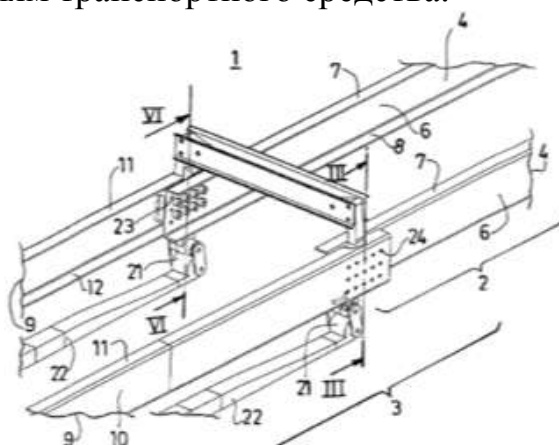


Рис. 2. Рама шасси изобретения в перспективе.

1 – рама; 2 – задняя подсекция шасси; 3 – передняя подсекция шасси; 4 – правые и левые задние лонжероны; 6 – вертикальная стенка; 7, 8 – горизонтальные верхние и нижние фланцы; 9 – правые и левые передние С-образные рамы; 10 – вертикальная стенка; 11, 12 – два горизонтальных верхних и нижних фланца; 21 – проушина; 22 – рессор подвески; 23, 24 – крепежные отверстия переднего лонжерона.

Для достижения этого рама шасси включает, по меньшей мере, два кронштейна, которые могут соединять два последовательных лонжерона рамы, одновременно расширяя раму шасси, поддерживая поперечное расстояние между этими лонжеронами рамы. На практическом уровне этот момент оказывается важным, поскольку большое количество уже существующих деталей транспортного средства спроектировано для крепления на внешней поверхности стенки рамы, где можно легко сделать крепежные отверстия и где верхние и нижние фланцы не мешают. Также кронштейн

сам по себе способен принять, по крайней мере, одну деталь транспортного средства. Крепление детали транспортного средства на кронштейн может оказаться выгодным, поскольку указанная деталь транспортного средства не прикреплена непосредственно к раме, и, таким образом, кронштейн поглощает вибрации, которые в противном случае напрямую передавались бы на раму шасси.

US9701341. Настоящее изобретение представляет собой шарнирно-сочлененную раму карьерного самосвала (рис. 3). Пространственная рама может включать первый конец, сконфигурированный для соединения с передними колесами машины, а также может дополнительно включать второй конец, сконфигурированный для соединения с задними колесами машины. Пространственная рама может включать множество первичных структурных элементов, расположенных продольно между первым концом и вторым концом. Кроме того, пространственная рама может включать множество вторичных структурных элементов, соединенных между первичными структурными элементами для формирования, по существу, треугольных структур.

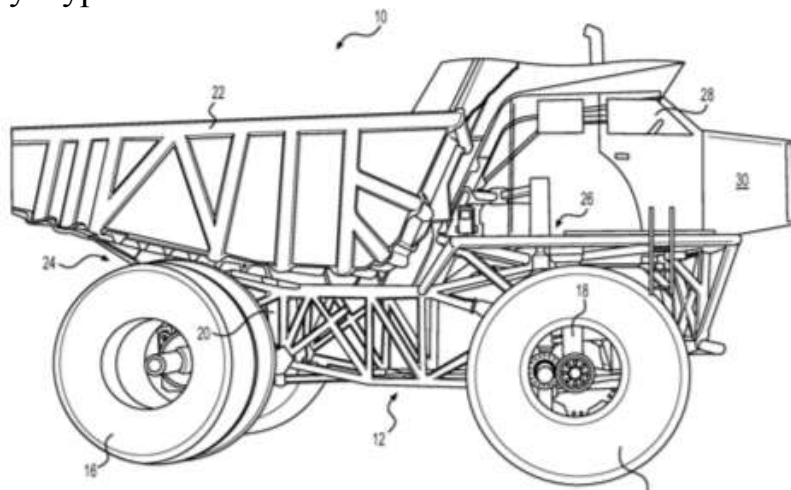


Рис. 3. Карьерный самосвал с пространственной рамой.

10 – Карьерный самосвал; 12 – пространственная рама; 16 – колёса; 18 – передняя подвеска; 22 – кузов; 24, 26 – передняя и задняя части пространственной рамы; 28 – кабина; 30 – двигатель.

Пространственная рама может быть способна поддерживать отношение полезной нагрузки к массе пустого транспортного средства в диапазоне от примерно 1,2:1 до 2:1.

US3552798. Рама карьерного самосвала, согласно патенту (рис. 4), предусматривает наличие поддерживающих и центрирующих устройств, приваренных к передней и задней части кузова, что позволяет получить равномерное распределение нагрузки на кузов при выгрузке груза. Тем самым повышается устойчивость карьерного самосвала, минимизируется возможность его опрокидывания.

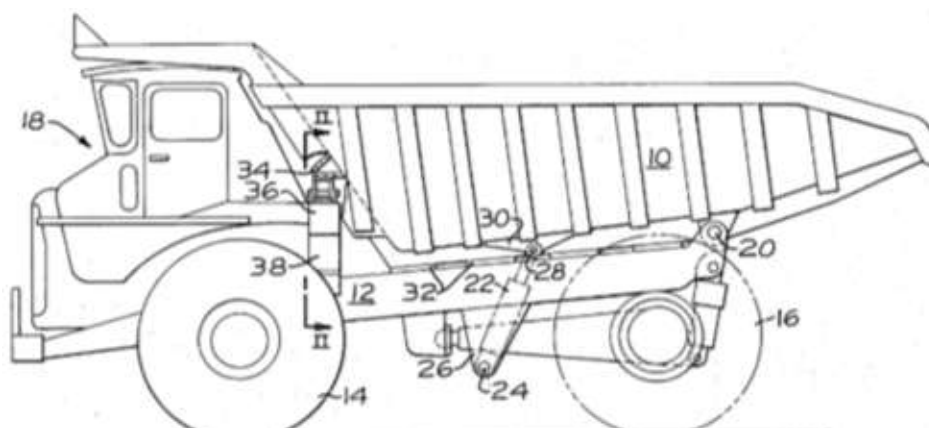


Рис. 4. Карьерный самосвал

10 – кузов; 12 – рама; 14, 16 – передние и задние колёса; 18 – кабина; 20 – шарниры; 22 – гидроцилиндр; 24 – ось вращения; 26 – кронштейн, простирающийся вниз от рамы; 28 – шарнир; 30 – кронштейн, простирающийся вниз от кузова; 32 – резиноподобный смягчающий материал; 34 – поперечный элемент; 36 – поперечная балка; 38 – опорный кронштейн.

Можно сделать вывод, что конструкции несущих систем в целом и их отдельных элементов отличаются большим разнообразием. При разработке новых или доработке существующих конструкций необходимо учитывать опыт, накопленный ведущими отечественными и зарубежными производителями. Основные направления совершенствования конструкции рам карьерных самосвалов, выделенные в приведенных патентах - унификация, снижение металлоемкости и повышение надежности конструкции.

Список литературы

1. Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы / А.А. Кулешов, А.Н. Егоров, И.В. Зырянов и др. СПб.: Наука, 2004. 429 с.
2. Горбунов А.Ю., Смирнов А.А. Анализ перспективных конструкций несущих систем грузовых автомобилей на примере патентов мировых производителей. Инженерный журнал: наука и инновации, 2015, вып. 4. URL: <http://engjournal.ru/catalog/mesc/msds/1379.html>.
3. Дубинкин Д.М., Зеляева Е.А., Аксенов В.В. Технические решения несущих систем (рам) карьерных самосвалов как объект интеллектуальной собственности. // Уголь. 2024. № 5. С. 47-53. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-5-47-53.
4. Патент US3552798 США, МПК B60P1/16. DUMP TRUCK BODY SUPPORTING MEANS. Caterpillar Inc. Заявка от 03.02.1969 опубликовано: 05.01.1971.
5. Патент US3977489 США, МПК B62D21/186. FRAMEWORK FOR A WHEELED SELF-PROPELLED TRUCK. Caterpillar Inc. Заявка от 24.01.1975 опубликовано: 31.08.1976.
6. Патент US7980594 США, МПК B62D21/12. CHASSIS FRAME ESPECIALLY FOR A HEAVY VEHICLE. Renault Trucks SAS. Заявка от 26.12.2006 опубликовано: 19.07.2011.
7. Патент US9701341 США, МПК B62D21/08. SPACE FRAME FOR A MACHINE. Caterpillar Inc. Заявка от 03.08.2015 опубликовано: 11.07.2017.

УДК 656.073

СРАВНЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КРИОГЕННОГО И ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

Хорошавин С.А.^{1,2}, доцент, Мингалимов К.Р.², магистрант.

¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ

²ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, РФ

Представлен анализ и сравнительная оценка эксплуатационных характеристик криогенного (СПГ) и дизельного топлива с акцентом на их применение в тяжелой карьерной технике. Рассмотрены ключевые параметры, влияющие на эффективность работы машин, такие как энергетическая плотность топлива, расход, экологические показатели, затраты на хранение и транспортировку.

Ключевые слова: криогенное топливо, СПГ, дизельное топливо, эксплуатационные характеристики, топливная система, эффективность.

COMPARISON OF CRYOGENIC AND DIESEL FUEL PERFORMANCE INDICATORS

Khoroshavin S.A., Mingalimov K.R.

The paper presents an analysis and comparative assessment of the performance characteristics of cryogenic and diesel fuels with an emphasis on their use in heavy quarry equipment. Key parameters influencing the efficiency of machines, such as fuel energy density, consumption, environmental performance, storage and transportation costs, are considered.

Keywords: cryogenic fuel, LNG, diesel fuel, performance characteristics, fuel system, efficiency.

Повышение экологичности и энергоэффективности карьерных самосвалов играет важную роль в развитии горнодобывающей и строительной отраслей. Карьерные самосвалы традиционно используют дизельные двигатели, которые выбрасывают значительное количество углекислого газа, оксидов азота, твердых веществ, таких как сажа и сера. Использование криогенного топлива (сжиженного природного газа – СПГ, жидкого водорода и других криогенных вариантов) в карьерных самосвалах позволяет повысить энергоэффективность и экологичность перевозок по сравнению с использованием традиционного дизельного топлива.

Крупные производители карьерных самосвалов имеют модели, работающие на СПГ, например. БЕЛАЗ-7558Н (рис. 1), самосвал грузоподъемностью 90 тонн, оснащенный газопоршневым двигателем КУНГУР-550, разработанным на базе ЯМЗ-240НМ2. Первый образец был представлен на международной выставке «ИННОПРОМ-2017» в Екатеринбурге. По результатам эксплуатации в АО «Невьянский цементник» отмечено снижение затрат на топливо в два раза по сравнению с дизельными аналогами [1].

Криогенное топливо, такое как сжиженный природный газ, имеет следующие основные параметры: температура кипения, удельная теплотемкость, теплота испарения [2]. В процессе производства СПГ природный газ (метан) очищают от посторонних примесей, таких как сероводород, угле-

кислый газ, вода, пропан, бутан и пр. Далее газ сжимают в несколько этапов до давления 25 МПа.



Рис. 1. Карьерный самосвал БелАЗ 7558Н

После очистки и сжатия газ поступает в криогенные установки, где он охлаждается до -160°C , переходя в жидкое состояние.

Применяют несколько технологий охлаждения природного газа:

- каскадный метод – последовательное охлаждение с использованием разных хладагентов;

- метод смешанных хладагентов – охлаждение с помощью смеси азота, этана, пропана и метана;

- турбодетандерный метод – охлаждение за счет расширения газа в специальных турбинах.

После сжижения объем газа уменьшается примерно в 600 раз, что облегчает транспортировку и хранение.

Для расчета температуры сжатия используется уравнение адиабатического процесса: [3]

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad (1)$$

где T_1 — начальная температура (в кельвинах); T_2 — конечная температура после сжатия; P_1 — начальное давление; P_2 — конечное давление; $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ — показатель адиабаты.

Энергия, необходимая для сжатия газа, рассчитывается по выражению:

$$W = \frac{nRT_1}{\gamma-1} \left(\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right) \quad (3)$$

где n — количество молей газа; R — универсальная газовая постоянная (8,314 Дж/(моль·К)).

Для охлаждения газа до криогенных температур используется энергия, которая рассчитывается по выражению:

$$E = mC_p\Delta T + mL \quad (4)$$

где: m — масса газа; C_p — удельная теплоемкость при постоянном давлении; ΔT — начальная и конечная температуры; L — теплота испарения.

Расход топлива рассчитывается по выражению:

$$Q = \frac{Pt}{\eta H} \quad (5)$$

где Q — объем израсходованного топлива; t — время работы; P — мощность двигателя; η — КПД двигателя; H — энергетическая плотность топлива.

На практике расход топлива может варьироваться в зависимости от нагрузки, рельефа местности, температуры окружающей среды, стиля вождения [4].

Объем топлива на 100 км рассчитывается по выражению:

$$Q_{100} = \left(\frac{100}{V}\right) * Q_{\text{час}} \quad (6)$$

где Q_{100} — объем топлива на 100 км; V — средняя скорость движения (км/ч); $Q_{\text{час}}$ — расход топлива за час.

Использование СПГ в карьерных самосвалах дает ряд преимуществ по сравнению с традиционным дизельным топливом.

Экологическая безопасность:

- снижение выбросов CO_2 — сжигание СПГ выделяет на 25 % меньше углекислого газа по сравнению с дизелем;

- отсутствие или минимизация выбросов NO_x и твердых частиц, что улучшает экологию карьера и снижает необходимость в дополнительных системах фильтрации;

- уменьшение шума — работа на СПГ снижает уровень шума двигателя, улучшая условия труда операторов и снижая шумовое загрязнение.

Экономическая эффективность:

- снижение затрат на топливо — СПГ дешевле дизеля в пересчете на единицу энергии, особенно в регионах с развитой газовой инфраструктурой [5];

- уменьшение эксплуатационных расходов — за счет более чистого сгорания уменьшается износ двигателя, а интервалы между обслуживанием увеличиваются.

Повышенная энергоэффективность:

- СПГ обладает высокой теплотворной способностью, что позволяет увеличить запас хода самосвалов без увеличения объема топлива;

- возможность использования гибридных решений (СПГ + дизельное топливо) для повышения эффективности в условиях высоких нагрузок.

Улучшение условий эксплуатации в карьерах:

- СПГ не требует сложных очистительных систем, как у дизельных двигателей (например, сажевых фильтров или систем SCR);

- более высокая безопасность при утечке – в отличие от дизеля, СПГ испаряется и не образует луж, уменьшая риск возгорания.

Долгосрочная перспектива и соответствие экологическим стандартам:

- внедрение криогенного топлива помогает компаниям соответствовать ужесточающимся требованиям по выбросам;

- СПГ может стать переходным топливом перед полным переходом на водородные

Сравнительная характеристика дизельного топлива и СПГ при их использовании на БелАЗ 7558 приведена в таблице 1.

Таблица – Сравнительная характеристика дизельного топлива и СПГ для БелАЗ 7558

Параметр	Дизельное топливо	СПГ
Стоимость, Р/кг	60-80	20-30
Расход, кг/100 км	125-170	200-260
Экологичность	низкая	высокая
Безопасность	стандартная	требует спецоборудования
Удобство заправки	высокое	ограниченное
Первоначальные затраты	низкие	высокие

Использование СПГ на карьерных самосвалах БелАЗ предлагает значительную экономию и экологические преимущества, но требует серьезных первоначальных инвестиций. Дизельное топливо остается более простым и универсальным решением, особенно в условиях отсутствия инфраструктуры для СПГ. Выбор вида топлива зависит от конкретных условий эксплуатации, бюджета и экологических требований.

Список литературы

1. https://dvizhok.su/komtrans/karernye-samosvalyi-belaz-75476-na-gazovom-toplive-harakteristiki%2C-preimushhestva%2C-rezultaty-isyitanij-ekspluataczii%2C-ekonomicheskaya-vyigoda?utm_source=chatgpt.com
2. ГОСТ Р 55476-2013. Требования к безопасности криогенных топливных систем. — Введ. 2014-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2013.
3. Техническая термодинамика / В. И. Крутов, А. С. Исаев, И. М. Кожинов. Москва: Высшая школа, 1986.
4. Криогенные топливные системы для тяжелой техники / А. В. Петров. Москва: Машиностроение, 2020.
5. Экономическая эффективность перевода карьерной техники на СПГ // Горная промышленность. — 2022.

УДК: 629.353

ИНТЕГРАЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ В СИСТЕМУ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ ГОРНОТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

Швыдкин С. А.¹, вед. инженер, Герики Б. Л.^{1,2}, д-р техн. наук, профессор
1 – Институт угля Федерального Исследовательского Центра угля и углехимии СО
РАН, г. Кемерово, 2 – Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф.
Горбачева, г. Кемерово, Россия

В связи с интенсивным развитием цифровизации на угольных предприятиях возникли благоприятные условия для внедрения на производстве дистанционных методов диагностики, позволяющих в непрерывном режиме следить за техническим состоянием карьерных самосвалов. Оснащение карьерных самосвалов на постоянной основе приборами диагностики, подключение их к бортовым системам самосвалов и системе диспетчеризации горнотранспортного комплекса (ГТК) значительно повысит уровень безопасности при эксплуатации самосвалов. Таким образом, диагностика будет проводиться ежедневно во время работы автосамосвала в карьере, а её результаты станут доступными для соответствующих служб, отвечающих за безопасную эксплуатацию самосвалов. Такой подход даст возможность заранее планировать проведение ремонтов и приобретение запчастей. Диагностика в условиях реальных нагрузок позволяет получить более качественный результат, помогает выявлять отклонения в условиях эксплуатации, оказывающие наибольшее влияние на скорость развития дефектов, следить за ростом дефектов.

Ключевые слова: техническое состояние, диагностика, карьерный автосамосвал, система диспетчеризации.

INTEGRATION OF THE SYSTEM OF TECHNICAL DIAGNOSTICS OF MINE DUMP TRUCKS INTO THE DISPATCHING SYSTEM OF THE MINING AND TRANSPORT COMPLEX

Shvydkin Sergey A., Gericke Boris L.

Due to the intensive development of digitalization at coal mining enterprises, favorable conditions have arisen for the introduction of remote diagnostic methods that allow continuous monitoring of the technical condition of mine dump trucks. Equipping mine dump trucks with diagnostic devices on a permanent basis, connecting them to the on-board systems of dump trucks and the dispatching system of the mining and transportation complex (MTC) will significantly increase the level of safety in the operation of dump trucks. Thus, the diagnostics will be carried out daily while the dump truck is operating in the open pit, and its results will be available to the relevant services responsible for the safe operation of dump trucks. This approach will allow to plan in advance for repairs and spare parts purchase. Diagnostics in conditions of real loads allows to obtain better results, helps to identify deviations in operating conditions that have the greatest impact on the rate of defects development, to monitor the growth of defects.

Keywords: technical condition, diagnostics, dump truck, dispatching system.

Для обеспечения безопасной работы при эксплуатации карьерных самосвалов на предприятиях проводится периодическая диагностика. В зависимости от пробега, проводится визуальный осмотр, после чего выполняется ремонт, в ходе которого обнаруженные дефекты устраняются.

Однако периодическая диагностика не гарантирует безаварийной работы. Связано это с тем, что скорость развития дефектов сильно зависит от условий эксплуатации: от качества дорожного покрытия, квалификации водителя, квалификации персонала по ремонту, общего пробега самосвала,

температурного режима эксплуатации и т.д. Временных интервалов между обследованиями, особенно в конце срока эксплуатации, не всегда хватает, а применяемые методы диагностики не позволяют оценить техническое состояние самосвала в целом [1].

Поэтому для повышения уровня безопасности необходимо перейти от периодической диагностики к постоянному мониторингу [2-6]. Мониторинг позволяет проводить техническое обслуживание и ремонты самосвалов по фактическому состоянию. Для этого наиболее подходящими являются дистанционные методы диагностики. К таким методам относятся, прежде всего, тензометрический контроль, контроль состава вещества, вибрационный контроль, шумовой и акустико-эмиссионный (АЭ) контроль.

Сегодня уже есть примеры использования дистанционных методов контроля для диагностики различных элементов карьерных самосвалов. Однако приборы, устанавливаемые на самосвалы, технически и программно никак не связаны ни с бортовой системой самосвала, ни с системой диспетчеризации горнотранспортного комплекса (ГТК). Сопоставление диагностических данных и параметров эксплуатации, регистрируемых системой диспетчеризации, проводится специалистами после проведенного обследования в ручном режиме, что достаточно долго и малоэффективно. Поэтому для решения этой задачи необходима совместная работа разработчиков систем диспетчеризации горнотранспортного комплекса с производителями приборов диагностики и предприятиями, эксплуатирующими карьерные самосвалы.

Задача заключается в необходимости, с одной стороны, организовать передачу данных от бортовой системы самосвала к приборам диагностики таких показателей, как динамический вес перевозимого груза, величина уклонов (продольного и поперечного), давление в цилиндрах подвесок, скорость движения самосвала, температура окружающей среды и других показаний подключаемых аналоговых и цифровых датчиков. Это необходимо для установления значений параметров эксплуатации, при которых происходит наиболее интенсивный рост дефектов. В результате появится возможность в режиме реального времени определять причины, приводящие к ускоренному развитию дефектов.

С другой стороны, необходимо организовать передачу результатов с приборов диагностики в систему диспетчеризации ГТК, где она будет накапливаться и анализироваться. Подключение приборов диагностики к системе диспетчеризации позволит соответствующим службам получать результаты диагностики автоматически и на основе полученных данных самостоятельно принимать решения о необходимости ремонта или других мероприятий. Чтобы персонал предприятия мог использовать результаты диагностики, должны быть разработаны критерии оценки результатов диагностики, которые позволяли бы в автоматическом режиме давать оценку о техническом состоянии самосвала.

Накопление диагностических данных в системе диспетчеризации позволит сравнивать техническое состояние различных самосвалов и определять приоритетные задачи, необходимые для устранения неисправностей. Появится возможность делать прогноз по техническому состоянию на ближайшую перспективу.

Накопленная в базе данных информация о диагностических параметрах и режимах эксплуатации карьерных самосвалов, а также о взаимосвязях между поломками узлов и агрегатов и предшествующими отклонениям отдельных контролируемых параметров в дальнейшем позволит разработать цифровые двойники карьерных самосвалов и перейти к предиктивному техническому и сервисному обслуживанию на базе прогнозных моделей [7].

Одним из основных препятствий к внедрению на производстве постоянного мониторинга является высокая стоимость оборудования для проведения диагностики. Уменьшить стоимость приборов можно за счёт использования в их основе универсальных плат ввода-вывода аналоговых и цифровых сигналов. Возможности такого оборудования будут уступать профессиональному, но для решения поставленной задачи по диагностике карьерных самосвалов их будет вполне достаточно. Кроме этого, платы, отвечающие за сбор данных по разным методам диагностики можно объединить в один системный блок. В таком случае, платы будут отвечать за оцифровку данных, а центральный процессор за их обработку.

В конечном итоге, специалисты по диагностике должны заниматься разработкой схем диагностики, установкой оборудования, разработкой критериев опасности на основе собранных данных, а обслуживающий персонал предприятия должен напрямую использовать результаты диагностики и самостоятельно принимать на их основе дальнейшие решения.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук» проект FWEZ-2024-0024 «Разработка эффективных технологий добычи угля роботизированными горнодобывающими комплексами без постоянного присутствия людей в зонах ведения горных работ, систем управления и методов оценки технического состояния и диагностики их ресурса и обоснование обеспечения воспроизводства минерально-сырьевой базы. 2024-2025 гг.» (рег. № 1022041500010-0-1.5.1;2.7.5).

Список литературы

1. Горюнов, С.В. Оценка системы технического обслуживания и ремонта карьерных автосамосвалов на угледобывающих предприятиях Кузбасса / С.В. Горюнов, А.А. Хорешок // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности : Сборник трудов XXI Международной научно-технической конференции, проведенной в рамках Уральской горнопромышленной декады, Екатеринбург, 06–07 апреля 2023 года / Под общей редакцией Ю.А. Лагуновой. Оргкомитет: Ю.А. Лагунова, А.Е. Калянов.

- Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2023. – С. 358-362. – EDN UTHNMI.
2. Шемякин В.В., Стрижков С.А. Аспекты применения метода акустической эмиссии для мониторинга опасных промышленных объектов // В мире неразрушающего контроля. 2004. №4. С. 16-19.
3. АЭ как комплексный метод мониторинга объектов. Задачи и перспективы. / Петерсен Т.Б., Шемякин В.В., Самохвалов А.Б., Курносое Д.А., Черниговский В.Ю., ООО «ДИАПАК», Москва, РФ // Всероссийская конференция с международным участием «Актуальные проблемы метода акустической эмиссии» (АПМАЭ-2021) Санкт-Петербург, Россия, Сборник материалов, - 2021.- С. 5-6.
4. Ono K. Structural Health Monitoring of Large Structures Using Acoustic Emission–Case Histories. Applied Sciences. 2019; 9(21):4602. <https://doi.org/10.3390/app9214602>
5. Nuñez, A., & Kattis, S. (2023). Effective approaches to remote asset monitoring with acoustic emission. EWGAE35 & ICAE10 Conference on Acoustic Emission Testing, Ljubljana, Slovenia, September 2022. e-Journal of Nondestructive Testing Vol. 28(1). <https://doi.org/10.58286/27600>
6. Швыдкий, С. А. Акустико-эмиссионный мониторинг несущих элементов металлоконструкций карьерных автосамосвалов / С.А. Швыдкий, Б.Л. Герике // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2022. – № 8. – С. 153-157. – EDN GYVRRW.
7. Комплексный подход к удаленному мониторингу технического состояния и режимов эксплуатации карьерного автосамосвала. / Клебанов А.Ф., Сиземов Д.Н., Кадочников М.В.// Горная промышленность. 2020; (2):75–81. DOI: 10.30686/1609-9192-2020-2-75-81.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Пленарное заседание

1. ДОРОГА В 80 ЛЕТ. Жиганов А.А. ФБГОУ ВО Уральский государственный горный университет.....	4
2. УРАЛЬСКИЙ ХАРАКТЕР. Жиганов А.А. ФБГОУ ВО Уральский государственный горный университет.....	5
3. ПАМЯТЬ О СОТРУДНИКАХ – 90 ЛЕТ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ПРОФЕССОРОВ П.А.КАСЬЯНОВА И А.В. ЮДИНА! Ю.А. Лагунова, К.П. Порожский, В.С. Шестаков, А.П. Комиссаров, ФБГОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, Россия	6
3. ИМПОРТОНЕЗАВИСИМОСТЬ ГОРНОТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ – ИНСТРУМЕНТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЛИДЕРСТВА ПРИ ОСВОЕНИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ. Глебов А.В., ФГБУН ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия	11
4. ПРИОБРЕТЕННЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ БАКАЛАВРА В ПРОЕКТИРОВАНИИ ГОРНОТРАНСПОРТНЫХ МАШИИ. Великанов В. С., Ситдикова С. В., Милютин А.Ю. УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург.....	15
5. ОРГАНИЗАЦИЯ ДОБЫЧИ ТОРФА В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ (к 80-летию великой Победы). Копенкина Л.В., Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Россия.....	19
6. ФОРМИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЕТЕНЦИЙ ИТ-СПЕЦИАЛИСТОВ ПОСРЕДСТВОМ ИНТЕРАКТИВНЫХ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ. Абрахимова А.М., Ерахтина И.И., Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, Казахстан.....	23

Секция 1. Машины и оборудование для открытых и подземных горных работ.....

1. К РАСЧЕТУ НАГРУЖЕННОСТИ РОБОТИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ С НЕЙРОСЕТЕВЫМ СОПРОВОЖДЕНИЕМ. Бейсембаев К.М., Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Р. Казахстан	28
2. КОНТРОЛЬ ОСАДКИ ГРУНТА ПОД ЭКСКАВАТОРОМ. Бугебрин Ш, Казаков Ю.А., Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Россия	32

3. ОДИН ИЗ ПОДХОДОВ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ РЕСУРСА ОСНОВНЫХ УЗЛОВ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ.	
Ситдикова С. В., Великанов В. С., Манолий К.С., Уральский государственный горный университет, УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Уральский государственный аграрный университет», г. Екатеринбург.....	35
4. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ ПРИВОДОВ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ.	
Волобуева П.С., Лагунова Ю.А. ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ.....	39
5. ФУНКЦИОНАЛЬНО-КОНСТРУКТИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ ВЫБОРА ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ПРОХОДЧЕСКИХ КОМБАЙНОВ.	
Гаврилова Л.А., Белов С.В., ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург.....	44
6. АНАЛИЗ РАЗРАБОТОК МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СПЛОШНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ.	
Гамаюнов С.Н., Копенкина Л.В., ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», г. Тверь, Россия.....	47
7. СОЗДАНИЕ МАШИНЫ ПО ФРЕЗЕРОВАНИЮ ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ ВМЕСТЕ С ПНЯМИ БЕЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ КОРЧЕВКИ.	
Б.Ф. Зюзин, А.И. Жигульская, С.Н. Гамаюнов. ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь, РФ.....	51
8. ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ СКОЛА ОТ ЦЕЛИКА ПИКОВЫМИ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ОРГАНАМИ.	
Гарашенко Ж.М. Иванов С.Л., Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II	55
9. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ТАНГЕНЦИАЛЬНЫХ РЕЗЦОВ ПРОХОДЧЕСКО-ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ КАЛИЙНЫХ РУДНИКОВ.	
Грибов Д.С., Шишлянников Д.И., АО «ВНИИ ГАЛУРГИИ» (г. Санкт-Петербург), ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»	58
10. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ТОРФЯНЫХ СТРУКТУР.	
Зюзин Б.Ф., Жигульская А.И., Рыльский С.А., Тверской государственный технический университет	62
11. РАЗРАБОТКА МНОГОЦЕЛЕВОГО ПОГРУЗЧИКА НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ АДАПТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ФРЕЗЕРНОГО ТОРФА.	
Гамаюнов С.Н., Зюзин Б.Ф., Тверской государственный технический университет....	65
12. К ВОПРОСУ О ПРОЕКТИРОВАНИИ НАЗЕМНОЙ ЧАСТИ ШАХТНОГО ПОДЪЕМНОГО КОМПЛЕКСА.	
Зверев В.Ю.,	68

- доцент, **Собянин И.А.**, Пермский национальный исследовательский политехнический университет; ООО «УралДробСервис», Пермь, Россия.....
- 13. ИССЛЕДОВАНИЕ ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКОГО УПРУГО-ДЕМПФИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА В ПРИВОДЕ ПОДЪЕМА КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА.** Зырянов И.В., Иов А.А., Иов И.А., Долгих Е.С., Политехнический институт (филиал) СВФУ, г. Мирный, ООО «СЛСи-Джи Эйч», г. Москва, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск..... **72**
- 14. ДИСТОРТНОСТЬ В ПРОЦЕССЕ СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ.** Зюзин Б.Ф., Жигульская А.И., Кирюхин С.А., Тверской государственный технический университет..... **76**
- 15. КЛАССИФИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ГЛУБОКОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ.** Юсов Д.С., Иванова П.В., Иванов С.Л., Санкт-Петербургский Горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург..... **80**
- 16. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРНО-МАССОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКСКАВИРОВАННОГО ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ ЧАСТИЧНО НАРУШЕННОЙ СТРУКТУРЫ.** Казаков Ю. А., Козачков Г. С., Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург..... **84**
- 17. ОПТИМИЗАЦИЯ СХЕМ ОТРАБОТКИ ПОРОДНОГО УСТУПА С ВЫЕМОЧНО-ПОГРУЗОЧНЫМ ДРАГЛАЙНОМ И ИННОВАЦИОННЫМ КОВШОМ.** Клементьева И.Н., Куулар О.О., Национальный исследовательский технологический ун-тет «МИСИС», г. Москва; Тувинский государственный университет, г. Кызыл..... **86**
- 18. ИННОВАЦИИ В КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМАХ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ОДНОКОВШОВЫХ ЭКСКАВАТОРОВ.** Абраров Р.Р., Иванов И.Ю., Комиссаров А.П., Маслеников О.А., ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург..... **92**
- 19. ОБЗОР ИНЕРЦИОННЫХ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ ОДНООСНЫХ АВТОТРАКТОРНЫХ ПРИЦЕПОВ.** Кузнецов В.В., Строганов Ю.Н., УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина.... **95**
- 20. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПРОХОДЧЕСКО-ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ ПРИ ПОДРУБКЕ КАЛИЙНЫХ ПЛАСТОВ ПО ВЫСОТЕ.** Куоза В. Д., Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь ... **98**
- 21. ОСОБЕННОСТИ ЭКСКАВАТОРОВ ЗАРУБЕЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА.** М.Д. Ларионов, Логиновских Д.С., Лагунова Ю.А., ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург..... **102**

22. ПОВЫШЕНИЕ ВРЕМЕНИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПРОХОДЧЕСКО-ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ КАЛИЙНЫХ РУДНИКОВ. Лосев Д.А., Шишлянников Д.И., АО «ВНИИ ГАЛУРГИИ», г. Санкт-Петербург, ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь	106
23. СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕНТИЛЯТОРНЫХ УСТАНОВОК БОЛЬШОЙ БЫСТРОХОДНОСТИ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ. Макаров В.Н., Алексеев М. А., Макаров Н.В., Молчанов М. В., Уральский государственный горный университет, АО «Уралмеханобр», г. Екатеринбург	110
24. ПРИМЕНЕНИЕ ВСТРОЕННОГО АЭРОСЕПАТОРА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУШКИ РУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ. Нурхожаев Е.С., Макаров В.Н., Р.Г. Макаров Н.В., Пазилова Е.К. ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», Екатеринбург, Россия, АО «Костанайские минералы», г. Житикара, Республика Казахстан	118
25. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НА ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ ТЕХНОЛОГИИ «ВЕНТИЛЯЦИЯ ПО ТРЕБОВАНИЮ». Молчанов М.В., Макаров Н.В., Макаров В.Н., Алексеев М.А., АО «Уралмеханобр», Екатеринбург, ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», Екатеринбург	121
26. ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НА ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ «ВЕНТИЛЯЦИЯ ПО ТРЕБОВАНИЮ». Молчанов М.В., Макаров Н.В., Макаров В.Н., Пазилова Е. К., АО «Уралмеханобр», Екатеринбург, ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», Екатеринбург, Россия	125
27. ПОСТАНОВКА ВОЗДУШНОЙ ЗАВЕСЫ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ УТЕЧЕК ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ УСТЬЕ ШАХТНОГО СТВОЛА. Морин А. С., Сапожников С. С., Сибирский федеральный университет, институт цветных металлов, г. Красноярск	129
28. К ВОПРОСУ О НЕКОТОРЫХ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ МОЩНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭКСКАВАТОРОВ. Побегайло П.А., Москва, Россия	132
29. ОБ ИТОГАХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭКСКАВАТОРОВ. Побегайло П.А., Москва, Россия	140
30. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПЕРФОРАТОРА. Кызыров К.Б., Решетникова О.С., Ашимбаев Д.А., Карагандинский технический университет им. А. Сагинова, г. Караганда, Казахстан	144

- 31. УЛУЧШЕНИЕ ОБЗОРНОСТИ КАБИНЫ МАШИНИСТА
КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА.** Седошенко А.М., Лагунова
Ю.А., ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б.Н. Ельцина», ФГБОУ ВО «Уральский государствен-
ный горный университет», г. Екатеринбург, РФ..... **149**
- 32. МОБИЛЬНЫЙ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩИЙ АГРЕГАТ
ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ПЛОЩАДИ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕ-
НИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НА ЛОКАЛЬНЫХ УЧАСТ-
КАХ.** Д. С. Грибов, И. Х. Тюбеев, Д. А. Ситников, К. А. Просовский,
А.В. Сенькин, АО «ВНИИ ГАЛУРГИИ», г. Санкт-Петербург, ФГАОУ ВО
«Пермский национальный исследовательский политехнический универси-
тет», г. Пермь, Россия..... **152**
- 33. ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ УГЛЯ В
СЛОЖНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ.** Нокина Ж.Н.,
Бейсембаев К.М., Акижанова Ж.Т. Карагандинский технический универ-
ситет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, Казахстан..... **155**
- 34. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ БУНКЕРА-
ПЕРЕГРУЖАТЕЛЯ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ПЫЛЕОБРА-
ЗОВАНИЯ В ОЧИСТНЫХ КАМЕРАХ КАЛИЙНЫХ РУД-
НИКОВ.** А. В. Сенькин, Д. И. Шишлянников, Пермский национальный
исследовательский политехнический университет, г. Пермь.. **158**
- 35. К ВОПРОСУ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВАРИЙНОЙ
СТОЙКИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ШАХТНОЙ КРЕПИ.** Си-
ницын Г.М., Филипенко И.А., Санкт-Петербургский горный университет
императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург **163**
- 36. ОСОБЕННОСТИ ВЫЕМКИ ОРГАНОГЕННОГО ГРУН-
ТА С ОТКОСА КАРЬЕРА.** Смирнов А.И., Санкт-Петербургский гор-
ный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург..... **166**
- 37. АНАЛИЗ И СТРУКТУРИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗ-
РУШЕНИЯ ГОРНОГО МАССИВА КАЛИЙНЫХ РУД ИС-
ПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ОРГАНАМИ ДОБЫЧНЫХ КОМ-
БАЙНОВ.** А. В. Кожей, С. В. Ситдикова, Д. С. Стожков, А. В. Уголь-
ников, РФ ПАО «Уралкалий», г. Березники, ФГБОУ ВО «Уральский госу-
дарственный горный университет», г. Екатеринбург..... **170**
- 38. МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ОТВОДА РАБОЧЕЙ
ЖИДКОСТИ ИЗ ЗУМПФА.** Сысоева И.Н., Белых А.Р., ФГБОУ ВО
«Южно-Российский государственный политехнический университет имени
М.И. Платова (НПИ)»..... **175**
- 39. АНАЛИЗ НОРМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ШАХТНЫХ
ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК.** Трифанов Г.Д., Пермский нацио-
нальный исследовательский политехнический университет, ООО «Регио-
нальный канатный центр», Пермь,..... **179**

40. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАБОЧИМ ПРОЦЕССОМ РОТОРНОГО ЭКСКАВАТОРА. Лукашук О.А., Маалаоуй Хамид (Танзания). ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».....	182
41. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ХОДОВОЙ СИСТЕМЫ ГУСЕНИЧНЫХ ТОРФЯНЫХ МАШИН. Швец Н.Ф., Гамаюнов С.Н., ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь, РФ.....	186
42. ОЦЕНКА УСИЛИЯ КОПАНИЯ КОВШОМ ЭКСКАВАТОРА ПРИ ФИЗИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ. Шешукова Е.И., Плащинский В.А., Салимов А.Э., Иванов С.Л. Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург.....	190
43. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ НА ИЗГИБ КУСКОВОГО ТОРФА С РАЗЛИЧНЫМИ ФОРМАМИ ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЙ. Яблонев А.Л., Щербакова Д.М., Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Россия.....	193
44. О РАЦИОНАЛЬНЫХ РАЗМЕРАХ КУСКОВОГО ТОРФА ТРУБЧАТОГО СЕЧЕНИЯ. Яблонев А.Л., Щербакова Д.М., Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Россия.....	197
<u>Секция 2. Машины и оборудование обогатительных фабрик</u>	201
1. ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДРОБЛЕНИЯ ГОРНОЙ ПОРОДЫ СВОБОДНЫМ УДАРОМ. Афанасьев А. И., Потапов В.Я., Зубов В.В., Чиркова А.А., Потапов В.В., ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», Екатеринбург, Россия.....	202
2. АНАЛИЗ ОБЪЕКТОВ ИНТЕЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ, НАПРАВЛЕННЫХ НА ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РОТОРНЫХ ДРОБИЛОК. Никитин А.Г., Бережанский В.Н., Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк.....	207
3. К ПРОБЛЕМЕ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКТА ДРОБЛЕНИЯ ПОСРЕДСТВОМ ИСПОЛНЕНИЯ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ЩЕК КРИВОЛИНЕЙНЫМ. Бойко В.С., Копосов П.В. Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург.....	211
4. ДИСТОРТНОСТЬ В ПРОЦЕССАХ ДРОБЛЕНИЯ И ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ТОРФЯНЫХ СТРУКТУР. Зюзин Б.Ф., Жигульская А.И., Рыльский С.А., Тверской государственный технический университет, г. Тверь.....	215
5. ГИДРОПРИВОД В КОНУСНЫХ ДРОБИЛКАХ. Лагунова Ю.А., Калянов А.Е., ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени	218

первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург.....	
6. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ ЩЕКОВОЙ ДРОБИЛКИ. Никитин А.Г., Лубин В.А., Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк.....	223
7. ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТНЫХ ПОДШИПНИКОВ В УЗЛАХ КАЧЕНИЯ ЩЕКОВЫХ ДРОБИЛОК. Майоров С.А., Унжакова Д.А., ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург	226
8. ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОДШИПНИКОВОГО УЗЛА КАЧЕНИЯ ЩЕКОВОЙ ДРОБИЛКИ. Майоров С.А., Спиридович Р.А., ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург.....	228
9. СИЛЫ ТРЕНИЯ И СОПРОТИВЛЕНИЯ В ПОДШИПНИКАХ УЗЛОВ КАЧЕНИЯ ЩЕКОВЫХ ДРОБИЛОК. Майоров С.А., Кириченко К.А. ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет».....	230
10. УПРАВЛЕНИЕ РУДОПОТОКОМ ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ ГЕТЕРОГЕННЫХ РУД ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ. Морин А. С., Штреслер К. А., Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия.....	232
11. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ГОРНОМ МАШИНОСТРОЕНИИ. Попов С. А., Макаров В. Н., Пазилова Е. К., Усков К.А., ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет», г. Екатеринбург, АО «Уралмеханобр», Екатеринбург.....	236
12. ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗАБАЛАНСОВОЙ СУЛЬФИДНОЙ РУДЫ ДО И ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КУСКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА. Афанасьев А.И., Потапов В.Я., Стожков Д.С., Потапов В.В., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия.....	239
13. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ АСБЕСТОВЫХ ЧАСТИЦ В БАРАБАННЫХ ГРОХОТАХ. Потапов В.Я., Волков Е.Б., Потапов В.В., Трутнев П.В., Соколов Р.В., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия.....	245
14. МОДЕРНИЗАЦИЯ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ ДЛЯ АО «АМУРЗОЛОТО». Червяков С.А., Общество с ограниченной ответственностью СГИ, г. Екатеринбург, РФ.....	251
15. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ЩЕКОВЫХ ДРОБИЛОК. Майоров С.А., Шпанькова Д.О., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, РФ.....	254
16. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ДРОБИЛЬНО-	258

СОРТИРОВОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ В РОССИИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ РЫНОЧНОЙ КОНЪЮНКТУРЫ. Де-
вяткин Е.А., Уральский государственный горный университет,

Секция 3. Геологоразведочное и нефтегазовое оборудование 262

1. ИССЛЕДОВАНИЕ КАВИТАЦИИ В ЦЕНТРОБЕЖНОМ НАСОСЕ. Белозерова Е.А., ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень, Россия 263

2. ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ УСТАНОВОК РАЗОГРЕВА-СЛИВА НЕФТЕПРОДУКТОВ ООО ОК РУСАЛ «АНОДНАЯ ФАБРИКА». Герасимова Т.А., Сибирский федеральный университет, г. Красноярск 267

3. ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕНЗОРЕЗИСТОРОВ В НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. Зобнин Г.К.; Лагунова Ю.А. ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург..... 271

4. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ПОЛОЖЕНИЯ КАНАТНЫХ НАСОСНЫХ ШТАНГ НА УЧАСТКАХ НАБОРА КРИВИЗНЫ СКВАЖИН. Иванченко А.А., Зверев В.Ю. Пермский государственный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Россия..... 273

5. РОБОТИЗАЦИЯ БУРОВЫХ КОМПЛЕКСОВ. ВЧЕРА. СЕГОДНЯ. ЗАВТРА. Порожский К.П., Чернухин С.А., Мурахтин В.Л., ФГБОУ ВО «УГГУ»; ФГАОУ ВО «УрФУ»; ФГБОУ ВО «Уральский ГАУ»; ООО «Уралмаш НГО Холдинг»..... 277

6. ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ УСТАНОВОК ШТАНГОВЫХ СКВАЖИННЫХ НАСОСОВ С ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ. Шишляников Д. И., Фролов С. А., Коротков Ю. Г., Картавцев В. К., Дрёмина Д. И., ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь.. 281

7. РАЗРАБОТКА ВИНК И АНО «ИНТИ» АКТУАЛЬНОГО ОТРАСЛЕВОГО СТАНДАРТА НА ГЕОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ. Анопин А.Ю., Чумаков И.С., Яковлев А. С, Зиновьев И. М, Мозголова Д.П., ООО «Газпром нефть НТЦ»; ООО «Газпромнефть-Нефтесервис»; АНО «ИНТИ»..... 285

Секция 4. Вопросы моделирования и расчеты сложных технических систем..... 287

1. ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ВЕНТИЛЯТОРОВ ДЛЯ ГРАДИРЕН. Макаров В.Н., Алексеев М.А., Макаров Н.В., Молчанов М.В., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, АО «Уралмеханобр», г. Екатеринбург..... 288

2. ВЛИЯНИЕ ПОДВЕСКИ НА ПЛОЖЕНИЕ КОВША ДРАГ-ЛАЙНА. Брозовский С. Ю., Шестаков В. С., Уральский государственный горный университет, ОАО «Трансмаш», г. Екатеринбург.....	292
3. НЕЙРО-НЕЧЕТКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ ГРАНСОСТАВА РАЗВАЛА ПРИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТАХ. Великанов В. С., Ситдикова С. В. Тельминов Н.С., Дремин А.В., «УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, ООО «ДАВТЕХ», г. Екатеринбург.....	296
4. ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЙ В КОВШЕ ЭКГ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СВОЙСТВ РАЗВАЛА ГОРНОЙ МАССЫ. Великанов В. С., Ситдикова С. В. Тельминов Н.С., Дремин А.В., «УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, ООО «ДАВТЕХ», г. Екатеринбург.....	300
5. МОДЕЛИРОВАНИЕ И СИМУЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ РАБОЧЕГО КОЛЕСА ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА. Зотов В.В., Мнацаканян В.У., Дятлова Е.В., Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС».....	304
6. ПРИНЦИП КОРРЕКЦИИ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ РЕЖУЩЕГО ЭЛЕМЕНТА ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ. Зюзин Б.Ф., Жигульская А.И., Гусева А.М., Туркин С.П., Тверской государственный технический университет.....	307
7. СОЗДАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ. Иванов А.А., Жигульская А.И., ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», г. Тверь.....	311
8. МОДЕЛЬ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА РУДНИЧНОЙ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ. Копачев В.Ф., Копачева Е.А., ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург.....	314
9. МЕХАНИЗМ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ МОСТОВОЙ ПЛАТФОРМЫ КАК ПРОЦЕСС. Мякотных А.А., Иванов С.Л., Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия.....	318
10. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СЖАТОГО ВОЗДУХА В КОМПРЕССОРАХ. Потапов В.Я., Симисинов Д.И., Потапов В.В., Соколов Р.В., Парамонова А.А., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, «Санкт-Петербургский горный университет», г. Санкт-Петербург, Россия.....	321
11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРИВОДА ФРЕЗЫ МАШИНЫ ДЛЯ СРЕЗКИ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ. Сеницын В.Ф., Копенкина Л.В., ФГБОУ ВО «Тверской государст-	325

венный технический университет», г. Тверь, Россия.....	
12. ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ КЛАПАНА ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРА. Сокина О. В., Хазин М. Л., Волегов С. А., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург	328
13. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ФУТЕРОВКИ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СКИПАМ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК. Фролова А.Ю., Зотов В.В., НИТУ «МИСиС», г. Москва	332
14. КЛЮЧЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННЫХ ШАХТНЫХ СПАСАТЕЛЬНЫХ РОБОТОВ: РОЛЬ И ВЫЗОВЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА. Чжэн Дундун (Китай), Лагунова Ю.А. ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, РФ.....	336
15. КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ РЕМОНТА ПЛАСТИКОВОЙ ТЯГОВОЙ ЦЕПИ. Савинова Н. В., Тарасов С. А. ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», УНМ «М-ЛАБС»...	339
16. ОБ ИЗМЕНЕНИИ УГЛА РЕЗАНИЯ ПРИ КОПАНИИ ГИДРАВЛИЧЕСКИМ ЭКСКАВАТОРОМ С РАБОЧИМ ОБОРУДОВАНИЕМ ОБРАТНАЯ ЛОПАТА. Муравский А.К., Ковалевский Д.Б., Разорвин Р.В., Ложкин К.Д., Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Россия.....	344
17. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ «ВПУСКА» И «ВЫПУСКА» ЖИДКОСТИ В РАБОЧЕМ ЦИКЛЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРНОГО МЕХАНИЗМА. Кызыров К.Б., Решетникова О.С., Таурбаев А.Е., Карагандинский технический университет им. А.Сагинова, г. Караганда, Казахстан.....	347
18. ВЛИЯНИЕ БУКСОВАНИЯ ДВИЖИТЕЛЯ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ МОБИЛЬНЫХ ГОРНЫХ МАШИН. Басалай Г.А., Казаченко Г.В., Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь.....	351
<u>Секция 5. Проблемы материаловедения, производства и конструирования в машиностроении.....</u>	356
1. ДИНАМИЧЕСКАЯ КОРРЕКЦИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ В СТАНКАХ С ЧПУ НА ОСНОВЕ ОПТОВОЛОКОННЫХ ДАТЧИКОВ И АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ. Злотников Е.Г., Андрейчук Н.А., ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II».....	357
2. РОЛЬ МАТЕРИАЛА СМЕННЫХ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН В ФОРМИРОВАНИИ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПО-	360

ВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТАЛИ ГАДФИЛЬДА ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ. Захарова В.П., Злотников Е.Г., Гильвинтов М.О., Дзюба А.А., Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург.....	
3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ СТАЛИ 30ХГСА. Глинникова Т.П., Медя А.В., ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург.....	363
4. ВЫБОР РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ. Захарова В.П., Злотников Е.Г., Афанасьев И.А., Прокофьев И.М., Струначев А.С., Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II.....	366
5. ПРИМЕНЕНИЕ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ ВСТРЕЧНОГО УДАРА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ. Зубов В. В., Фролов С.Г., ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург.....	370
6. ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА ЛОПАТКИ НА ШУМОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСЕВОГО ВЕНТИЛЯТОРА МЕСТНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ. Копачев В. Ф., Кочнева Л. В., ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург...	373
7. ИЗУЧЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ДЛИННОМЕРНОЙ ДЕТАЛИ В ПРОЦЕССЕ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ. Симисинов Д. И., Ветлужских Д.Н., Волегов С.А., ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург; АО «Северский трубный завод» г. Полевской.....	377
8. ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ «СОЕДИНЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ» ПОДПОРНОГО НЕФТЯНОГО НАСОСА НА ОБРАБАТЫВАЮЩЕМ ЦЕНТРЕ. Симисинов Д.И., Моклоков Д.С., Глинникова Т.П., ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург; АО «КОНАР», г. Челябинск Россия.....	380
9. ПРОЦЕСС СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОТКЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ. Адмакин М.А., Халимоненко А.Д., Голец Е.А., Турчина В.С., Успенская В.Д., Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Россия.....	385
10. АДДИТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ГОРНЫХ МАШИН. Хазин М. Л., Волегов С. А., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия.....	389
11. ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ И КОНСТРУИРОВАНИИ ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ. Чуйков	392

С.С., Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

<u>Секция 6. Ремонт, сервисное обслуживание и диагностика горного оборудования.....</u>	397
1. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕМОНТНОЙ СЛУЖБЫ ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНЧЕСКОГО УЧЕТА. Л.И. Андреева, Челябинский филиал Института горного дела УрО РАН, г. Челябинск, Россия.....	398
2. СТАНДАРТИЗАЦИЯ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ КАК МЕТОД ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ В РЕМОНТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ. Л.И. Андреева, Челябинский филиал Института горного дела УрО РАН.....	404
3. МЕТОДЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. Потапов В.Я., Бочков В.С., Бочкова К.В., Потапов В.В., ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»	409
4. КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ. Сушко А.Е., Быков Д.В., Лагунова Ю.А., ООО НПО «ДИАТЕХ», г. Москва; ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург.....	413
5. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ БАРАБАННОЙ МЕЛЬНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННЫХ ПРОСТРАНСТВ И ОТСУТСТВИЯ РЕМОНТНЫХ БАЗ. Корогодин А.С., Иванов С.Л., Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Россия.....	418
6. ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭКСКАВАТОРОВ ЦИКЛИЧНОГО ДЕЙСТВИЯ. Красникова Т.И., Научно-исследовательский институт эффективности и безопасности горного производства, г. Челябинск...	423
7. АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ РОЛИКОВ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ. Кузин Е.Г., Бурштык С.А., Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, филиал в г. Прокопьевске, Россия.....	428
8. СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА НАДЕЖНОСТИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ. Набиуллин Р.Ш., Уральский государственный горный университет, г.Екатеринбург, Россия.....	432
9. ВЛИЯНИЕ КВАЛИФИКАЦИИ МАШИНИСТОВ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ НА ОСОБЕННОСТИ НАБОРА ГОРНОЙ МАССЫ. Хамидов О.У., Шибанов Д.А., Санкт-	434

Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия	
10. ОЦЕНКА РИСКОВ ОТКАЗОВ ПРИ ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ О СРОКАХ ПРОВЕДЕНИЕ ТОиР. Салимов А.Э., Шешукова Е.И., Иванов С.Л. Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, РФ.....	438
11. ОПЫТ РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ В УСЛОВИЯХ ТОО «BORUSAN SAT КАЗАХСТАН». Азбаев И.А., Телиман И.В., Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, Казахстан.....	442
<u>Секция 7. Карьерный транспорт и транспорт нефти и газа...</u>	446
1. АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ БЕЗЛЮДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА КАРЬЕРАХ. Абдрахманова К.В., Ткачук Е.С., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия.....	447
2. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В РАМНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ. Жилинков А.А., Лагунова Ю.А., Макарова В.В., Калянов А.Е., Уральский государственный горный университет, «УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург.....	451
3. ГИБРИДНЫЕ КАРЬЕРНЫЕ САМОСВАЛЫ: АНАЛИЗ ТЕКУЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ, СТРАТЕГИЙ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГИЕЙ И ПЕРСПЕКТИВ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ. Линь Цюньхао (Китай), Ю.А. Лагунова, ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», ФГАОУ ВО «Уральский фед. университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, РФ.....	454
4. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕМОНТА ВЕДУЩЕГО МОСТА АВТОСАМОСВАЛА БЕЛАЗ-7555. Плютов Ю.А., Траоре Б. Сибирский федеральный университет, Россия; COBAD S.A., Гвинея Республика	460
5. ПНЕВМОТРАНСПОРТНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ. Потапов В.Я., Хазин М.Л., Архипов М.В., Потапов В.В., Парамонов К.А., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия.....	463
6. КИНЕМАТИКА ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МЕХАНИЗМОВ. Раевская Л. Т., Светонослова М. А., ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, Россия.....	470
7. К ВОПРОСУ О КОЛЕБАНИЯХ В ПОДВЕСКЕ ТЯЖЕЛОГО РУДНИЧНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА. Серебренников Н.Е., НИТУ МИСИС, Горный институт, г. Москва, Россия.....	474

- 8. ОБЗОР ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НЕСУЩИХ СИСТЕМ (РАМ) КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ.** С.А. Хорошавин. Ю.А. Борисова. ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ; ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, РФ **478**
- 9. СРАВНЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КРИОГЕННОГО И ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА.** Хорошавин С.А., Мингалимов К.Р. ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»; ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, РФ..... **482**
- 10. ИНТЕГРАЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ В СИСТЕМУ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ ГОРНОТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА.** Швыдкин С. А., Герике Б. Л., Институт угля Федерального Исследовательского Центра угля и углехимии СО РАН, Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Россия..... **486**

Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов XXIII 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 17.03.2025 г. Бумага «Svetocopy» Формат 60×84 1/16
Ризография Печ. л. 27,43 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