

# **СБОРНИК ТРУДОВ**

**XVIII международной  
научно-технической конференции  
«Чтения памяти В. Р. Кубачека»,  
в год памяти и славы горняков,  
к 75-летию ПОБЕДЫ  
в Великой Отечественной войне**

**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**

**XVIII Международной научно-технической конференции  
«Чтения памяти В. Р. Кубачека»  
в год памяти и славы горняков,  
к 75-летию ПОБЕДЫ  
в Великой Отечественной войне**

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ  
ДЛЯ ГОРНОЙ И НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**02-03 апреля 2020 г.**

Под общей редакцией проф. Ю.А. Лагуновой

**г. Екатеринбург**

Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов XVIII международной научно-технической конференции «Чтения памяти В. Р. Кубачека», проведенной в рамках Уральской горнопромышленной декады 02-03 апреля 2020 г. / Под общ. ред. Лагуновой Ю.А. / Оргкомитет: Ю.А. Лагунова, В.С. Бочков, А.Е. Калянов. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2020. – 368 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.

Пленарные доклады посвящены памяти героев-горняков участников Великой Отечественной войны.

© 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. *Бочков Владимир Сергеевич* – канд. техн. наук, сопредседатель конференции (г. Екатеринбург);
3. *Калянов Александр Евгеньевич* – канд. техн. наук, секретарь конференции (г. Екатеринбург);
4. *Суслов Николай Максимович* – д-р техн. наук, профессор УГГУ (г. Екатеринбург);
5. *Комиссаров Анатолий Павлович* – д-р техн. наук, профессор УГГУ (г. Екатеринбург);
6. *Шестаков Виктор Степанович* – канд. техн. наук, профессор УГГУ (г. Екатеринбург);
7. *Трифанов Геннадий Дмитриевич* – д-р техн. наук, профессор Пермского национального исследовательского политехнического университета (г. Пермь);
8. *Андреева Людмила Ивановна* – д-р техн. наук, гл. н. с. Челябинского филиала Института горного дела ИГД УрО РАН (г. Челябинск);
9. *Семенов Виктор Владимирович* – канд. техн. наук, генеральный директор ЗАО «Копейский машиностроительный завод»
10. *Червяков Сергей Алексеевич* – канд. техн. наук, ООО «ГМК».

## Международный программный комитет

1. *Ма Гоган* - директор института дистанционного образования, доктор наук Китайский нефтяной университет (Китай);
2. *Карстен Дребеншедт* – доктор наук, профессор Фрайбергской горной академии (Германия);
3. *Рейнхард Сахсенхофер* - профессор Горного университета Леобена;
4. *Анна-Мария Ферреро* - профессор Туринского университета (Италия);
5. *Сладковский Александр Валентинович* - д.т.н., проф.; зав. кафедрой, ординарный профессор Силезского технического университета, факультет транспорта (Катовице, Польша);
6. *Ян Крет* – PhD, профессор Технического университета Остравы, факультет металлургии и инженерных материалов (Чехия);
7. *Михайлов Александр Николаевич* – д.т.н., проф., зав. кафедрой технологии машиностроения Донецкого национального технического университета (ДНР);
8. *Иватов Марат Кенесович* - ректор, доктор технических наук, профессор Карагандинского государственного технического университета («КарГТУ»), (Р. Казахстан);
9. *Бейсембетов Искандер Калыбекович* - ректор, доктор экономических наук, профессор Казахского национального исследовательского технического университета им. К.И. Сатпаева (Р. Казахстан);
10. *Мустафа Баба оглы Бабанлы* – ректор, доктор технических наук Азербайджанского государственного университета нефти и промышленности (Азербайджан);
11. *Маралбаев Акылбек Осконбаевич* - ректор, профессор Института горного дела и горных технологий имени академика А.Асаналиева (Р.Казахстан).

УДК 94(41/99)

## В СПИСКАХ ПАМЯТИ НАВЕЧНО

Здесь, на окраине села,  
Когда-то глухо рвались мины,  
Шрапнель завалинки секла –  
И многих храбрых приняла  
Земля навек в свои глубины.

Два дня здесь бился батальон,  
Не видя неба в дымном смраде.  
И, как ведётся испокон,  
Он лёг костями в разрытый склон,  
Не уступив врагу ни пяди.

Затёрся временем их след,  
Отсчёт годам повёл век новый –  
И в край, что был войной задет,  
Отдать им долг сквозь толщу лет  
Пришёл отряд наш поисковый.

Определили на постой  
Нас к вдовой маленькой старушке,  
Дни коротающей одной  
В избе просторной и пустой  
Посередине деревушки.

«Добро задумали, сынки», –  
Узнав, кто мы, она сказала,  
И слёзы градом потекли  
С сухой морщинистой щеки:  
«А я в войну всех потеряла».

И повела нас вглубь жилья,  
К уютной ложнице с часами:  
Там в рамках вся её семья –  
Два брата, муж и сыновья –  
Висели рядом с образами.

Слияньем света и теней  
Средь снимков сумерки играли,  
И в мельтешении огней  
Недвижные глаза парней  
На нас из прошлого взирали.

И каждый ясно ощутил,  
Что нет границ меж временами  
И, что любой, кто раньше жил  
И за Отчизну жизнь сложил,  
По-прежнему незримо с нами.

Забота эта свысока  
Во всех делах нас окружает,  
А ей ведомая рука  
Касаньем бережным скребка  
Бойцов из глины извлекает...

В тот раз нам удалось найти  
Четыре смертных медальона:  
Два были девственно пусты,  
А в прочих – чистые листы.  
Мы уезжали огорчённо.

Вдова пришла нас провожать,  
Когда отправились в дорогу,  
И, обнимая, будто мать,  
Не уставала повторять:  
«Все имена известны Богу».

**05 марта 2020 г.**

**Павел Жиганов** (выпускник кафедры ГМК, 2006 г.)

УДК 94(41/99)

## НАЗЛО ВСЕМ СМЕРТЯМ!

**Боярских Г.А.**, д-р техн. наук, проф.,

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

*В статье приведена хроника событий 1943-1945 гг из жизни одного бойца Советской Армии, сотрудника Уральского государственного горного университета, о его мужестве, крепости духа, любви к Родине.*

*Ключевые слова:* Абалмасов Николай Петрович, подвиг народа.

## BAD TO ALL DEATH

**Boyarsky G.A.**

*The article gives a chronicle of the events of 1943-1945 from the life of a fighter of the Soviet Army, an employee of the Ural State Mining University, about his courage, fortitude, love of the motherland.*

*Keywords:* Abalmasov Nikolay Petrovich, feat of the people.

В феврале 2020 года горно-механический факультет Уральского государственного горного университета покинул последний ветеран Великой Отечественной войны Николай Петрович Абалмасов.

Николай Петрович родился в 1925 г. в селе Лозовое Павловского района Воронежской области. В Советской Армии состоял с 1943 по 1950 г., призывался в г. Челябинске, при увольнении - был сержантом. Службу проходил в воздушно-десантных войсках. Совершил 11 прыжков с парашютом, в том числе боевой прыжок в тыл противника в составе 3-й гвардейской воздушно-десантной бригады на правый берег Днепра в 1943 г. Был контужен. Награжден орденами Красной Звезды и Отечественной войны. После увольнения из рядов Советской Армии поступил в Воронежский сельскохозяйственный институт. Работал в г. Свердловске на заводе по ремонту сельхозмашин мастером, начальником ремонтного цеха. В последующие годы работал преподавателем в лесотехническом, а с 1970 по 1990 гг. – в горном институтах.

Назло всем смертям! [1]

Смерть первая. Николай Абалмасов боевое крещение получил до Днепра. Даже орден Красной Звезды получил, когда ещё не был солдатом, а находился на окопных работах на Белгородском направлении. Тогда из подвернувшегося под руку противотанкового ружья в критическую минуту он подбил три вражеских танка и, тем самым, отвел угрозу окружения огромного числа безоружных людей. Кое-какой опыт воздушного десантирования у него тоже был: после окопов, став солдатом, доставлял в партизанский отряд боевые грузы. И вот – рейд за Днепр... - «Могучий Днипро мы перелетали ровно в час ночи», - вспоминает Николай Петрович. «Я знал, что вот-вот в определенных местах должны появиться световые сигналы. Но что это? Огни горят повсюду! В небе рвутся осветительные ракеты и снаряды. Навстречу нам несутся сотни, тысячи трассирующих пуль. Ад крошечный под нами... Да, он самый. А может, и хуже. Впереди от

прямого попадания зенитного снаряда загорелся и стал разваливаться самолет, на котором летел командир пятой бригады. Подождать бы, пока его обломки рухнут вниз, но звучит неумолимая команда: «Пошел!»». Николай решительно бросился в проем двери. Внизу – море огней, грохот боя и треск автоматно-пулеметных очередей. Парашют раскрылся нормально и уже наполнился воздухом. Абалмасов поправил висевшую на груди снайперскую винтовку и тут почувствовал, как резко дернуло стропы. Парашют как-то неестественно и быстро заскользил в сторону. Сразу же обожгла мысль: пробит купол. Но чем? Горящими обломками самолета или трассирующими пулями? Да, посадка не обещает быть мягкой. Скорее всего... Нет, только не это. Николай чертыхнулся, вспомнив, как перед самой погрузкой в самолет у десантников отобрали запасные парашюты. Почему?! И тут осветительная ракета вырвала из тьмы ночи то ли дом какой, то ли группку деревьев. «Надо рулить туда!» - и десантник резко дернул за передние стропы, направляя свой дырявый парашют туда, где он только что видел какой-то неясный силуэт. И ему повезло: падая с недопустимой скоростью, он угодил в скирду соломы, отскочил он неё, как мяч, и благополучно соскользнул на землю. Только подумал: «Фу! В рубашке родился...». Потом, когда бежал по полю на условный сигнал сбора, наткнулся на нескольких своих друзей, которые разбились о землю из-за того же самого, и ещё раз сказал себе: «Да, в рубашке. Теперь жить, да воевать надо». [1]

Смерть вторая. Неподалеку от деревни Медведевка с трудом нашли друг друга всего 37 десантников. Группу возглавил заместитель командира батальона капитан Жигалкин. Кругом куда ни глянь – пальба. Немцы всюду. Продвигаясь со всеми предосторожностями, взошли на какой-то бугорок, окопались по всем правилам, и решили отсидеться здесь денек, а там – пробиваться к своим. Но немцы нарушили этот замысел, и уже ранним утром, поддерживаемые танками, атаковали позиции десантников. Бой длился до половины дня, ибо боеприпасы кончались, но тут танк выстрелил по скирде, солома загорелась, и поле окутало дымом. Под его завесой, оставшиеся в живых скатились в овраг и все же оторвались от противника. В одном месте наткнулись на гору трупов своих побратимов. Боеприпасов у них не обнаружили, а вот несколько пакетов с продовольствием нашли. Когда подкрепились, капитан спросил Абалмасова: «Вон до той деревни добраться можешь?». «Могу. А что?» – переспросил солдат. «Надо разведать, есть ли там немцы. И сколько». Николай и еще один десантник попластунски поползли к видневшейся неподалеку изгороди. Войдя во двор крайнего дома, солдаты укрылись в погребе и стали дожидаться темноты. Но тут их обнаружила хозяйка и ускорила процесс разведки. Немцев, сказала она, в деревне немного. В амбаре, который, как заметили солдаты, охраняется часовым, наверное, хранится оружие: она видела, как в него «стаскивали якись-то ружья». Обо всем этом уже вскоре Николай доложил командиру группы. А часа через два он же бесшумно, броском кинжала снял с поста часового, и десантники набрали оружия и боеприпасов столь-



ко, сколько могли унести. Потом полыхнул скоротечный бой, в котором был уничтожен весь небольшой немецкий гарнизон, и группа растворилась в ночи. До 10 октября, совершая дерзкие нападения на малочисленные группы врага, десантники благополучно обходили неприятельские засады. А вот в тот день не убереглись. Немцы обнаружили их на дне глубокого оврага и забросали гранатами. Николай вскинул было автомат, но тут рядом с товарищем громыхнул взрыв, и его всего обдало землей и кровью. Потом – ещё один взрыв, от которого со стены оврага отвалилась и придавила его собой глыба земли. «Вот и все», - подумал солдат и потерял сознание. Пришел в себя он уже после боя, и начал было сгребать с себя землю свободной рукой, но в тот же миг почувствовал сильный удар по голове и опять потерял сознание. Когда пришел в себя, никакой земли на нем уже не было. Рядом, привалившись к стене оврага, сидел с двумя перевязанными култышками вместо рук старшина 1-й роты, рядом с распоротым животом извивался от боли солдат, которого пытался перевязать другой, тоже раненый, солдат. Неподалеку гоготали немцы. Николай потянулся рукой к поясу, где несколько минут назад была кобура с трофейным пистолетом, но ни пояса, ни даже гимнастерки на нем не было. «Вот когда все, - в самое сердце кольнула мысль. – Это же - плен...». [1]

Смерти пятая и десятая. Пятая? Десятая? А где третья, четвертая и все остальные? Все там же, в плену. Там чуть ли не каждый день грозил смертью. Чего стоил один полицай в Умани. Из русских, сволочь, был. Увидел как-то на Николае десантные американские ботинки. – «Отдай, все равно расстреляем». «А ты сперва расстреляй, а потом снимай ботинки», - дерзко ответил Николай. И полицай навел свой пистолет на десантника. Но тот не дрогнул. «Ладно, завтра пришлепну»... А назавтра Николай и других пленных повезли в Германию. По пути была остановка в Шепетовке. Увидев почти голого солдата, одна женщина бросила ему через колючую проволоку мешок и полбулки хлеба, за что получила от охранника пулю в грудь. Но этот мешок и согревал Николая до границы с Германией, где немцы делали дезинфекцию всем пленным. У входа в баню – две двери. Николая толкнули в левую дверь. Когда помылся и обрядился в какой-то, кажется, французский френч, узнал от пленного истопника: правая дверь вела в газовую душегубку. Потом был западногерманский лагерь № 326, где лютовал надсмотрщик Сашка-москвич. Вот уж кто поиздевался над пленными. В руках у него всегда – клинок и плеть. Чуть что – не тем, так другим достанет. С утра – маршировка на плацу, потом все ложились на живот и ползли, выщипывая траву. И горе тому, кто пропустит хоть былинку! Ещё хуже было после «сенокоса»: теперь надо было выгребать нечистоты из одного туалета и переносить в яму другого, а назавтра – наоборот. Через неделю таких издевательств Николай Абалмасов свалился. И Сашка-москвич непременно заколол бы его, но кто-то из ребят тайком перенес его в тифозный блок. Здесь он стал отходить, поедая баланду тех, кто только-только умер. Однако вскоре немецкий врач заметил, что Нико-

лай вовсе не тифозный, обозвал его симулянтом и выгнал из блока. А тут как раз отправляли пленных на какие-то шахты, и Абалмасов угодили в этот эшелон. В пути он снова ослаб, и когда поезд остановился в Нюрнберге, его, вместе с умершими, выбросили на кучу хвороста, которую с наступлением ночи должны были поджечь и тем очистить «великую Германию» от духа смердов. Но счастье и тут не оставило Николая. Печальную роль сожжения трупов осуществлял здесь персонал Международного госпиталя Красного Креста. Так вот, изучая личные карточки умерших (а немцы-педанты скрупулезно вели их), главный врач этого госпиталя некто Анатолий Иванович Кузьмин обратил внимание на то, что военнопленный Николай Петрович Абалмасов был родом из г. Павловска Воронежской области: «Так это же земляк мой!», - воскликнул он и приказал санитару найти его труп по номеру нагрудной бирки. И тут надо пояснить, что родители этого врача когда-то владели имением на Кантемировке, а сам он состоял на военной службе в Павловске Воронежской губернии. В первую мировую войну попал в плен, потом перебрался в Югославию и вот теперь снова был насильно угнан в Германию, где как-то устроился в Международный госпиталь. Когда Николая извлекли из груды трупов, он оказался ещё живым. Кузьмин распорядился перенести его в одну из палат и начал лечить земляка. В его добрые руки он попал в день своего рождения – 18 декабря 1944-го, а в сознание пришел только 20 января следующего, победного года. Хотелось Анатолию Ивановичу оставить земляка возле себя до конца войны, но гестаповцы не позволили бандита жалеть. И попал он в какую-то кавалерийскую школу, которая находилась в Бамберге. Здесь вместе с другими военнопленными – Веней Бобылевым и Иваном Григорьевичем Нарбутом они готовили корм для лошадей, ухаживали за ними. Но на их беду случился пожар, и все трое угодили в гестапо, где были приговорены к расстрелу. Потом оказалось, что эта кара была заменена другой – отправкой в штрафлагерь в Граффенверк, откуда живым не выходил ни один пленник. Здесь «кавалеристы», как они прозвали себя, копали шахты под пусковые установки ФАУ-2. Семь конвоиров на десять узников – не убежишь. И все же однажды они решились и напали на зазевавшегося конвоира. Да неудачно, немец успел выстрелить, пуля лишь обожгла Николаю висок, но на выстрел сбежались другие. Что тут было – лучше не рассказывать. У Абалмасова оказались сломанными ребро, руки и ноги, выбиты зубы. Три с лишним месяца все трое пролежали в госпитале.

Когда вернулись в штрафлагерь, десятерых пленных конвоировал уже всего один немец: многих отправили на фронт, который уже приближался к границам Германии. Николаю и товарищам повезло больше, чем другим: их охранял немец, ненавидевший войну и Гитлера, отнявших у него трех сыновей. Звали его Ганс Штиммер. «Живи, солдат». Николай как-то сразу понял это и повел с ним разговор о войне, о фашизме. Потом вопрос поставил прямо: «Ганс Штиммер, вы хотите уцелеть в этой войне?» «Хочу», - ответил он. – «Ещё как хочу. У меня же ещё дочь есть, её бы вы-

растить». «Тогда надо бороться. Помогите нам бежать. И сами поскорее уходите», - предложил ему Николай Абалмасов. Но это легко было сказать – бежать да уходить. А куда? Рядом – граница с Чехословакией, где повсюду фашистские войска. На первом же шагу поймают. Если только навстречу американцам пойти? Так и решили. И тут – везение: американцы стали бомбить Граффенверк и его штраф-лагерь, и пленных направляли на тушение пожаров. Тут-то и запаслись заговорщики необходимым продовольствием, формой одежды вестарбайтеров, оружием. Во время третьей, сильной бомбежки погиб комендант лагеря. Прихватив его оружие и кое-какие документы, семь пленных переоделись, и Ганс Штиммер повел их на Запад. Легенда у него была одна: веду рабочих к такому-то и такому-то бауэру. Через неделю пути оказались неподалеку от Франкфурта-на-Майне, и здесь, попав под очередную бомбежку, беглецы потеряли четырех товарищей. К вечеру грохот стих, и неподалеку появилась танкетка, над которой развевался американский флаг. Через несколько минут все были уже в какой-то американской части. Здесь на глазах у высыпавших навстречу им солдат и офицеров добряк Ганс Штиммер в щепки разнес свою винтовку и попросился в плен. Но ему был выписан соответствующий документ, и он отправился домой. А четверо русских пленных, отдохнув с недельку, были зачислены в танковый американский десант. До самого 9 мая они были в боях. Бадкиссингер, Бамберг, Вюресбург, Нюрнберг, Регенсбург, другие города – вот вехи их боевого пути. А после войны вместе с другими бывшими советскими военнопленными они должны были отбыть в Калифорнию, куда отправлялась их часть. Но на их счастье, как-то встретился им полковник из советской миссии во Франции. Он-то и посодействовал возвращению Николая и его друзей на Родину. Их сняли прямо с корабля, отходившего в Америку. Макс, командир танкового взвода, в котором воевал Николай Абалмасов, на ломаном русском языке сказал ему примерно так: «Живи, солдат! Ты храбро воевал, достойно прошел муки ада – так будь счастлив!» Теперь к сказанному осталось добавить совсем немного. Десантнику Днепровской воздушной операции, как, впрочем, и другим его друзьям по несчастью, довелось пройти и через узилище нашего пересыльного лагеря, где лютые контрразведчики допрашивали их со всей жестокостью. Дней десять так. Потом - короткое: «Ждите». Дождался Николай, приехал за ним капитан одной из частей Группы советских войск в Германии, и дослужился здесь бывший десантник до сержантских погон. В 1950 году уволился в запас. Как человека, побывавшего в плену, в Воронежский государственный университет его не приняли. Пришлось идти на факультет механизации в сельскохозяйственный институт. [1]

В 1955 году вместе с женой по распределению приехал в Свердловск. Преподавал в лесотехническом и горном институтах.

Н. П. Абалмасов успешно реализовал себя как глубокий специалист и как педагог, работая старшим преподавателем.

Н. П. Абалмасов выполнил научные исследования и опубликовал в сборниках трудов под общим названием «Исследование тепловых явлений и износа режущего инструмента при обработке ДСП на металлорежущих станках».

О широте научных интересов и прикладной значимости трудов Н. П. Абалмасова свидетельствуют приведённые названия опубликованных ниже исследований.

1. Статистическая оценка влияния параметров точности на показатели технической надёжности бурового инструмента.

2. Исследование взаимосвязи параметров функциональной взаимозаменяемости с показателями технической и эксплуатационной надёжности вентиляторов тоннельной вентиляции (ВТВ)

3. Исследование и повышение эффективности работы поршневых компрессорных установок Уфимского нефтеперерабатывающего завода.

Кафедрой и деканатом Свердловского горного института отмечался успешный опыт Н.П. Абалмасова индивидуальной работы со студентами.

Н. П. Абалмасов заслужил особое внимание и высокую оценку за вклад педагога с героической личной историей. Благодаря этому он пользовался авторитетом среди студентов и преподавателей – коллег, и служил примером сохранения лучших традиций военно-патриотического воспитания молодёжи.

Абалмасов Н.П. сформировался как квалифицированный специалист по теории и практике взаимозаменяемости, стандартизации и техническим измерениям и внёс достойный вклад в подготовку специалистов в области горного машиностроения.

За время работы в Свердловском горном институте на кафедре технологии производства и ремонта горных машин и до выхода на пенсию Н.П. Абалмасов проявил себя как авторитетный педагог и методист. При его непосредственном участии в подготовке и выполнении многочисленных учебных пособий и методических разработок для специальностей «Горные и торфяные машины» лекционных курсов, курсовых проектов и лабораторных работ по дисциплине «Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. На кафедре хранятся экземпляры учебно-методических работ Н.П. Абалмасова, прошедших проверку временем.

Николай Петрович останется в памяти коллег мужественным, стойким воином и высокопрофессиональным педагогом.

### **Список литературы**

1. Рассказ «Назло всем смертям» для Союза десантников Урала, записанный со слов Н. П. Абалмасова 18.08.2015 г.

**УДК 94(41/99)**

**ПАМЯТИ АБАЛМАСОВА Н.П.**

Тому, кто вынес ужасы войны  
И сквозь прицел смотрел на оккупанта.  
Кто падал вниз сквозь бездну вышины  
Стальной звездой гвардейского десанта.

Тому, кто испытал немецкий плен,  
Но не был сломлен в длительной неволе.  
Кто рвался сердцем за квадраты стен  
К неласковой и злой солдатской доле.

Тому, кто стал примером для других –  
Коллег, друзей, студентов и знакомых.  
Кто часть себя, навек оставил в них...  
...Вся благодарность низкого поклона!

**05 марта 2020 г.**

**Анатолий Жиганов** (выпускник кафедры ГМК, 2006 г.)

**УДК 94(41/99)**

**ПАМЯТИ АБАЛМАСОВА Н.П.**

Последний вздох проходит долго,  
Ведь Смерти некуда спешить.  
И жизнь, прожитая без толку,  
Её изрядно может насмешить.

Но в этот раз старуха не смеётся,  
Печален её тёмный взор.  
Достойный с жизнью расстаётся,  
Но так суров природы приговор.

И смотрит Смерть на Николая,  
Бойца принёсшего весну,  
Того чья доблесть трудовая,  
Подняла на ноги страну.

Того, кто воспитал студентов,  
Их постарался научить.  
И не просил он постаментов,  
Хотел он честно жизнь прожить.

Не стала медлить смерть седая,  
Закончила всё в тот же миг,  
И проводив его до рая,  
Сказала: «Молодец, старик!»

**09 марта 2020 г.**

**Александр Третьяков** (студент кафедры ГД, гр. РПМ-19)

**УДК 94(41/99)**

## **СТУДЕНТОМ НА ФРОНТ**

**Никитин А.Г.**, д-р техн. наук, проф.,  
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк

*Краткая история жизни выпускника Свердловского горного института Никитина Григория Михайловича.*

**Ключевые слова:** оборона Москвы, оборона Сталинграда, шахты.

## **STUDENT ON THE FRONT**

**Nikitin A.G.**

*A brief life story of the graduate of the Sverdlovsk Mining Institute, Nikitin Grigory Mikhailovich.*

**Keywords:** defense of Moscow, defense of Stalingrad, mines.

Григорий Михайлович Никитин родился в г. Ишим Тобольской губернии в 1918 году. Окончив рабфак в 1937 году, поступил в Свердловский горный институт на специальность «Разработка пластовых месторождений».



Летом 1941 года, после IV курса, отказался от брони, и подал заявление в военкомат. Так поступили все его одногруппники (с фронта вернулось 2 человека). Закончив обучение на ускоренных 2-х месячных курсах артиллерийского училища, получил звание лейтенанта и в сентябре 1941 года был отправлен на фронт, где при обороне Москвы командовал батареей и получил легкое ранение. При обороне Сталинграда в звании старшего лейтенанта командовал артиллерийским дивизионом. Зимой 1943 года получил тяжелое ранение. После лечения в госпитале был комиссован и получил направление в учебный артиллерийский полк заместителем командира полка. В 1946 году по личному заявлению был демобилизован из ар-

мии и восстановился в Свердловский горный институт, который окончил в 1947 году, получил квалификацию горный инженер и по распределению работал на шахте «Зиминка» (г. Прокопьевск) сначала горным мастером, а потом начальником участка.

В 1958 году был отправлен в командировку в Германскую Демократическую Республику советником, по возвращении из которой в 1962 году работал главным инженером шахты 1-2 им. Ленина (г. Междуреченск Кемеровской обл.)

В 1964 году был назначен начальником Куйбышевской ГГТИ (районная горнотехническая инспекция) в г. Новокузнецке и в этой должности работал до 1985 года, до последних дней своей жизни.

Кавалер орденов Ленина, Знак Почета, Шахтерская Слава 3-х степеней.



УДК 94(41/99)

## ПУТЬ СОЛДАТА

**Воронова Э.Ю.**, д-р техн. наук, заведующая кафедрой

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

*Приведены биографические данные о жизненном пути участника Великой Отечественной войны, доктора технических наук А.Л. Мальца. Изложены основные события периода гитлеровской оккупации города Шахты и последующего становления Шахтинского филиала Новочеркасского политехнического института.*

**Ключевые слова:** Великая Отечественная война, оккупация, подвиг, герой, город Шахты, Шахтинский филиал НПИ, Анатолий Лукич Малец.

## THE SOLDIER'S PATH

**Voronova E.Y.**

Shakhty automobile and road construction institute (branch) of Platov SRSPU(NPI)

*Biographical data about the life of a participant of the great Patriotic war, doctor of technical Sciences A. L. Malets are given. The main events of the period of Hitler's occupation of the city of Shakhty and the subsequent formation of the Shakhty branch of the Novocherkassk Polytechnic Institute are described.*

**Keywords:** The great Patriotic war, occupation, feat, hero, city of Shakhty, Shakhty branch NPI, Anatoly Lukith Malets.

Шахтинский (ныне автодорожный) институт (филиал) ЮРГПУ(НПИ) им. М.И. Платова. Его стены не знали бомбежек, не были искалечены осколками снарядов. Он родился позже, в мирном 1958 году. Он не застал ужасов войны. Чего нельзя сказать о городе, в котором он находится.

В начале июля 1942 года началось стремительное наступление немцев на южном участке. Они рвались к кавказским нефтяным промыслам и в излучину реки Дон у Сталинграда. Создалась угроза окружения наших войск под Ростовом. С арьергардными боями они начали отход за реку Дон. На одной из таких переправ прямым попаданием снаряда был уничтожен плот, на котором находился мой дед – рядовой Коньков Александр Константинович. Он ушел на фронт добровольцем, оставив дома мою десятилетнюю маму и мою бабушку, носившую под сердцем его сына, о котором он так мечтал, но которого так никогда и не увидел.

Темп отступления наших частей был настолько высок, что наступавшим немецким подвижным соединениям в восточном и юго-восточном направлениях едва удавалось поддерживать соприкосновение с отходившими на юг нашими частями.

19 июля 1942 года в городе прогремели мощные взрывы, было уничтожено и затоплено 6 шахт. На следующий день взорвали Артём-ГРЭС и еще три шахты. Минировались и взрывались другие важные объекты и учреждения. Тактика выжженной земли реализовывалась в полном масштабе – врагу не должно было достаться ничего! Город был окутан черным дымом вперемешку с пылью. Накануне происходила эвакуация оборудования шахт, других объектов, персонала. Но не все могли эвакуироваться, в основном на Урал увозили шахтеров и строителей, тех, кто не

был призван в армию.

На рассвете 21 июля 1942 года город Шахты был оставлен нашими войсками. В этот же день, во время бомбардировки города, в погребе, на холодном земляном полу появился на свет мальчик Николай – сын погибшего красноармейца А.К. Конькова. А 22 июля на улицах появились немецкие машины и мотоциклы, начались чёрные 206 дней гитлеровской оккупации. Лишь 12 февраля 1943 года советским войскам удалось выбить немцев из Шахт. Страшную картину представлял наш город после освобождения. Было разрушено практически все, что имело отношение к инфраструктуре, социально-культурным объектам и промышленности. За семь месяцев оккупации фашисты уничтожили около 14 000 жителей.

8 апреля 1943 года появилось одно из первых свидетельств о том, что творили немцы в городе – фронтовая красноармейская газета «Сталинское знамя» посвятила целую полосу трагедии на шахте им. Красина города Шахты. А 9 апреля 1943 года в вечерней сводке Советского Информбюро были прочитаны данные такого акта:

«За время оккупации немецко-фашистскими бандитами шахта им. Красина подверглась полному разрушению, а жители шахтного поселка – неслыханным издевательствам и насилиям. Ствол шахты стал могилой для 3500 ни в чем не повинных советских людей, растерзанных палачами гестапо. У ствола шахты немцы соорудили застенок, где производились массовые расстрелы мужчин, женщин и детей, трупы которых сбрасывались в ствол. Многие были брошены живыми. Всех обреченных раздевали на лютном морозе, их одежду немцы делили между собой... Перед расстрелом фашистские изверги брали у наиболее здоровых кровь для нужд своих госпиталей. Выкачивание крови производилось в таких дозах, что многих арестованных привозили к месту казни полуживыми. Об этих неслыханных зверствах над советскими людьми мы доводим до сведения всего нашего народа, всех наших доблестных воинов и призываем беспощадно отомстить фашистским кровососам, пившим кровь русских людей».



*Рис. 1. Шурф № 3 шахты «10 лет ЗИ», июль 1943 г., выгрузка вагонетки*



*Рис. 2. Наружный ствол шахты им. Л. Красина, место расправы над мирным населением города*



*Рис. 3. Мемориал жертвам фашизма на месте шахты им. Л. Красина*

И наши воины мстили! Изо всех сил! Потом и кровью, ценой невероятных усилий досталась Победа! А те, кто выжил на фронте и на оккупированной извергами земле смогли восстановить то, что было разрушено. В

июле 1945 года добыча угля составляла уже 62 % довоенного уровня! По сути, целый каменноугольный район был застроен заново [1].

Угольная отрасль Донбасса была обескровлена, требовались молодые специалисты-горняки. Поэтому, через 13 лет после окончания войны, для первых студентов распахнул свои двери новый ВУЗ – Шахтинский филиал Новочеркасского политехнического института (ШФ НПИ), который на протяжении более 60 лет был и до сих пор остается кузницей высококлассных специалистов – горных инженеров!

Высокое качество выпускников достигалось не только старанием и настойчивостью самих студентов, но и высочайшим профессионализмом преподавателей, многие из которых прошли войну от первого до последнего дня, а потом посвятили свою жизнь благородному делу подготовки молодых инженеров-горняков.

Об одном из таких людей хочется рассказать отдельно. Это Анатолий Лукич Малец – последний из ветеранов-сотрудников института. 48 лет жизни он отдал ВУЗу, передавая свой опыт и знания сотням и тысячам студентов. Родился Анатолий Лукич далеко от города Шахты – в городе Спасске Приморского края, в 1922 году. В 1941 году был призван на военную службу, участвовал в боевых действиях 1-ой Дальневосточной Армии.



*Рис. 4. Сержант Красной Армии  
Малец А.Л. (1945 год)*



*Рис. 5. Доктор технических наук,  
профессор Малец А.Л. (2008 год)*

Из воспоминаний Анатолия Лукича: «Летал я воздушным стрелком - радистом на дальнем ночном бомбардировщике ИЛ-4. Мы производили налеты на Манчжурию, там были основные военные базы Японии, так как она в то время оккупировала эту территорию. Давалась цель, маршрут, отбомбил, противозенитный маневр и домой. А ИЛ-4, как мы говорили, это «четырёхместный летающий гроб», команда состояла из лётчика, штурмана, стрелка-радиста и стрелка. Вооружение стрелковое, помню, три ШКАСа. Зайдет истребитель в хвост бомбардировщику – считай, что тебе хана. Налёт авиации – это страшное дело. Очень страшное.

Когда узнали о Победе, там такая кутерьма была, такая стрельба! Ни-

кто ничем не мог утихомирить. Да и не пытались. Всё-таки это Победа!»

Сержант Малец А.Л. был награждён Орденом Отечественной войны II степени, медалью «За боевые заслуги», «За победу над Японией» и другими. Но, как признавался Анатолий Лукич: «Самая главная моя награда – это то, что я остался жив!». После демобилизации в 1946 году, Анатолий Лукич поступил учиться на горный факультет Дальневосточного технического института (ДВПИ). С отличием закончил его, некоторое время работал на шахте № 20 г. Сусанска, затем – на кафедре «Подземная разработка пластовых месторождений» ДВПИ. В 1954 году был направлен в аспирантуру Новочеркасского политехнического института, окончил ее в 1957 году, успешно защитил кандидатскую диссертацию, возвратился на Дальний Восток, работал старшим преподавателем, затем заведующим кафедрой подземной разработки пластовых месторождений ДВПИ.

Однако Донские просторы глубоко запали в душу молодого ученого. И в 1960 году он вернулся в Восточный Донбасс и начал трудиться в лаборатории подземной разработки угольных месторождений ШахтНИУИ. А с 1963 года стал доцентом кафедры «Технология и комплексная механизация подземной разработки пластовых месторождений» в Шахтинском филиале НПИ, где и остался на всю жизнь. За время работы в институте А.Л. Малец подготовил 12 кандидатов наук, успешно защитил докторскую диссертацию, получил ученое звание профессора, являлся почетным членом Академии горных наук РФ. Его чертой в работе со студентами всегда была принципиальность в оценке их знаний. Уже на третьем курсе студенты специальности «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых» знали, что бесполезно даже пытаться обмануть этого преподавателя: он все равно поставит оценку, соответствующую знаниям.

В газете «Шахтинские известия» от 3 ноября 2000 год в статье «Разговор с преподавателем» есть такие строки: «Анатолий Лукич Малец слывет в Южно-Российском университете преподавателем строгим и требовательным. Студенты третьего-четвертого курсов горного факультета боятся его, как огня. Пятикурсники говорят о нем с уважением: «нормальный мужик». А некоторые добавляют: «Хотел бы я в его годы иметь такое здоровье» [2]. До конца жизни профессор А.Л. Малец оставался все таким же подтянутым, быстрым в движениях человеком. Однако годы, конечно же, взяли свое. 10 февраля 2011 года Анатолия Лукича не стало, но искреннее уважение к этому преподавателю, защищавшему Родину в годы войны, а потом отдавшему почти полвека своей жизни делу подготовки молодых специалистов для угольной отрасли, останется в сердцах его коллег и учеников навсегда.

#### **Список литературы**

1. Город Шахты в годы Великой Отечественной войны [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://xn----8sbb8dhrct4a.xn--p1ai/> .

**УДК 94(41/99)**

## **ОБРАЗ СОЛДАТА**

За окном мирный день и весёлые крики мальчишек,  
И у каждого множество разных и радостных дел.  
О войне они знают из выцветших фильмов и книжек –  
Ради этого ты в лицо смерти в боях и смотрел.

Ночь звенела в висках просвистевшим зенитным снарядом,  
На земле под крылом прорастали цветы из огня —  
Пусть сегодня тебе не пройти по брусчатке парадом,  
Но другие твой снимок в строю пронесут за тебя.

Ты прошёл на войне семь кругов нестерпимого ада,  
Превращавшего юных мальчишек в матёрых мужчин —  
И твой образ солдата, движенья, уверенность взгляда  
Мы в архивах сердец неизменной строкой сохраним!

**09 марта 2020 г.**

**Анатолий Жиганов** (выпускник кафедры ГМК, 2006 г.)

УДК 94(47).084.8

## **КИЛЬКЕЕВ ШАХИМ ХУСАИНОВИЧ – ВОИН, УЧЕНЫЙ, ПЕДАГОГ**

**Баталов А.П., доцент, Ведрова Д.А., Иванова М.В.**  
ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский горный университет

*Килькеев Шахим Хусаинович – выпускник Ленинградского горного института, горный инженер, кандидат технических наук, доцент. Во время Великой отечественной войны участвовал в организации партизанского движения в Ленинградской, Псковской и Новгородской областях. Участник обороны Ленинграда, Сталинградской битвы, дошел с войсками до Рейхстага*  
**Ключевые слова:** Горный институт, война, партизанское движение, командир, штурм Берлина

### **KILKEEV SHAHIM HUSAINOVICH – WARRIOR, SCHOLAR, TEACHER**

**Batalov A.P., Vedrova D.A., Ivanova M.V.**

*Kilkeev Shahim Husainovich is a graduate of the Leningrad mining Institute , mining engineer, candidate of technical Sciences, associate Professor . During the great Patriotic war, he participated in the organization of the partisan movement in the Leningrad, Pskov and Novgorod regions. Member of the defense of Leningrad, the battle of Stalingrad , reached the Reichstag with the troops*  
**Keywords:** Mining Institute, war, partisan movement, commander, assault on Berlin

**Килькеев Шахим Хусаинович** родился 17.09.1910г. в г. Каттакурган Самаркандской области. Трудовую деятельность он начал в 1929 году в г.Фергана в должности директора и преподавателя рабфака, служил в Красной Армии (1932-1933 гг.), работал в ферганском педагогическом институте в 1933-1934 гг. В 1934 году поступил в Ленинградский горный институт и по решению Горкома КПСС в 1939 году был направлен на учебу в Высшую партийную школу.



До войны Шахим Хусаинович был одним из руководителей институтского Осоавиахима, а с ее началом становится слушателем курсов политсостава при Военно-политической академии имени В.И. Ленина. Первое назначение – комиссаром десантного батальона. Первый бой – под Сталинградом. Во время атаки на занятую гитлеровцами высоту он бежал с автоматом впереди своих бойцов и получил тяжелое ранение. Атака захлебнулась. Отходя, десантники вынесли своего комиссара с поля

боя.

После госпиталя Килькеева назначают заместителем командира полка сформированной на Урале 171-й стрелковой дивизии. Боевое крещение дивизия приняла на Валдайских высотах. Воевала под Старой Руссой, защищала Ленинград, освобождала Идрицу, Себеж, города Прибалтики и Польши. Сражалась в Померании и участвовала в Берлинской операции.

Битва за Берлин стала одной из самых кровопролитных в Великой Отечественной войне. 300-тысячный гарнизон немецкой столицы, в том числе отборные эсэсовские части, оборонял территорию в 325 квадратных километров. Улицы перегородили баррикады, а бомбоубежища, станции и туннели метро, водосточные коллекторы превратились в мощные укрепления. На вооружении у гитлеровцев – 3 тысячи орудий и минометов, 250 танков, самолеты. По воспоминаниям Маршалов Советского Союза Г.К. Жукова и И.С. Конева, командовавших 1-м Белорусским и 1-м Украинским фронтами, на подступах к городу было создано три рубежа обороны. Об ожесточенности боев за Берлин говорит такой факт: немцам удалось уничтожить и подбить более 800 наших танков и самоходных орудий. Потери с обеих сторон были ужасающими. И это при том, что по воспоминаниям Г.К. Жукова «гитлеровские войска были буквально потоплены в сплошном море огня и металла». Сотни советских самолетов шли над полем боя волнами. Наша артиллерия только в первый день операции произвела 1 миллион 286 тысяч выстрелов, на что потребовалось 2450 вагонов снарядов.

В битве за Берлин участвовали и питомцы Горного института. Бывшие бойцы первого партизанского отряда К.А. Полунин и В.Ш. Кронгауз, студенты и сотрудники Н.К. Ефименко, В.А. Асташев, Н.И. Руденко и будущий профессор И.В. Литвиненко. А также будущий заведующий отделом истории ЛГИ Сергей Павлович Гладкий, многое сделавший для увековечивания памяти фронтовиков. Прошедший всю войну, он воевал в должностях командира взвода, а затем, в звании майора, – командира 117-го отдельного истребительного противотанкового дивизиона на Южном, Северо-Кавказском и 1-м Белорусском фронтах.

Непосредственно Рейхстаг штурмовал со своими бойцами в составе 380-го полка 171-й Идрицко-Берлинской Краснознаменной дивизии бывший студент, а впоследствии доцент Горного института Шахим Хусаинович Килькеев. Совместно со 150-й стрелковой дивизией и 23-й танковой бригадой 171-я стрелковая дивизия сломала сопротивление отборных эсэсовских частей, оснащенных танками, штурмовыми орудиями и другими видами артиллерии на подступах к рейхстагу и в нем самом [1, 2].

В своих мемуарах генерал-лейтенант Ф.Я. Лисицын, описывая взятие немецкой столицы, особо отметил 380-й стрелковый полк, который наступал в районе населенного пункта Линдерберг. Там немцы сосредоточили значительную группировку пехоты, усиленную большим количеством артиллерии и танков. Противник оборонялся ожесточенно, то и дело предпринимал яростные контратаки, но в итоге был опрокинут. «В этом успехе, – писал генерал, – немалая заслуга принадлежала заместителю командира полка по политической части майору Ш.Х. Килькееву. Будучи с самого начала в боевых порядках штурмового батальона, он перед атакой побывал во всех подразделениях, побеседовал с бойцами и командирами, еще раз разъяснил им боевую задачу. А затем первым поднялся в атаку, личным примером бесстрашия и отваги увлек за собой всех воинов. Когда же батальон отбил небольшой участок автострады, по заданию того же Килькеева сержант-комсомолец Никитин установил на расположенной недалеко бензозаправочной станции красный флаг. Это еще в большей степени подняло боевой дух наступающих. Воины батальона ворвались в пределы большого Берлина и сразу же завязали там уличные бои» [1].

В течение 30 апреля командный пункт 380-го полка размещался в здании швейцарского посольства, но поздним вечером командир полка В.Д. Шаталин и его заместитель Ш.Х. Килькеев с группой связистов перебрались в юго-восточную часть рейхстага, откуда руководили боем и поддерживали связь с командованием дивизии. Бой на подступах к рейхстагу, где простреливались каждая улица, каждый дом, каждый метр площади перед ним, был кровопролитным. А в самом рейхстаге, на лестницах и в коридорах, в комнатах и подвалах зачастую завязывалась рукопашная. Утром 1 мая немцы предприняли несколько яростных контратак внутри рейхстага и со стороны Бранденбургских ворот. Командир штурмового батальона 380-го полка старший лейтенант К.Я. Самсонов, будущий Герой Советского Союза, так вспоминал об этом многочасовом бое: «Под прикрытием дыма эсэсовцы атаковали нас, но мы не дрогнули, не отступили. Стволы наших пулеметов и автоматов от непрерывной стрельбы так накалились, что до них невозможно было дотронуться. Дым ел глаза. К тому же мучила жажда, а воды не было ни капли».

В результате мощной контратаки фашистов во фланг второго батальона 380-го полка, подкрепленной танками и огнем с верхних этажей Рейхстага, между ним и 525-м стрелковым полком образовался разрыв в 200 метров. Этим отчаянным прорывом немцы стремились ударить в тыл наших подразделений, занимавших исходные позиции вдоль рва на Кенигсплатце. Корреспондент газеты «Правда» М. Кержанов сообщал: «Это был



самый тяжелый момент боя, требовавший от молодого некадрового командира полка майора Шаталина и его верного помощника по политчасти Килькеева быстрых решительных действий. Они выдержали свой самый трудный экзамен».

Не раз смотревший смерти в глаза, долгие годы носивший у сердца осколок, а в нем самом – боль о погибших товарищах, Шахим Хусаинович всю свою биографию вместил на трех с половиной страничках ученической тетради. «Что творилось в здании Рейхстага, – вспоминал он, – трудно описать. Немцы подожгли его, из многочисленных подвалов поднимались клубы дыма, известковой пыли, летели осколки, пули. Не было света, воды». О себе самом он сообщил кратко: «Мне пришлось заняться помощью раненым – сбором их в укрытые места, обеспечить водой, организовать медицинскую помощь» [1].

Бывший командир 380-го стрелкового полка В.Д. Шаталин, спустя двадцать пять лет после Победы, в газете «Красная звезда» тепло говорил о своем боевом друге: «Так случилось, что, непосредственно штурмуя Рейхстаг, никто из нас не расписывался на его стенах. Все до того тогда устали, были так измотаны, что путали время суток. Когда дали отбой, настолько хотелось спать, что, казалось, заснул бы прямо здесь, на мостовой. И позже я так и не оставил на здании своего автографа. Считаю, что боевые друзья расписались и за меня.

Но это к слову. А подробней хотелось бы рассказать о другом. О человеке, который навсегда вошел в мое сердце вместе с теми трудными днями. Имя его – Шахим, заместитель командира 380-го стрелкового полка по политической части Килькеев Шахим Хусаинович. Прибыл он к нам в полк во время Висло-Одерской операции. Исключительно работоспособный, знающий свое дело офицер, он всегда находился там, где было трудней. С командиром, в штабе, в подразделениях – для всех у него находилось время, всем он успевал помочь и всех ободрить. Во время боев за Рейхстаг Шахим Хусаинович оказывал помощь раненым, отыскивал для них безопасные места, воодушевлял воинов своей беззаветной смелостью».

После демобилизации майор Килькеев вернулся в Горный институт и в 1946 году его окончил. Поступил в аспирантуру, а в 1950-м защитил кандидатскую диссертацию. Много лет работал на кафедре рудничной вентиляции и охраны труда. Как ученый он разрабатывал тему проветривания рудных шахт, чем оказал значительную техническую помощь многим комбинатам и рудникам. Опубликовал около 30 научных работ, а учебник «Рудничная вентиляция», написанный совместно с профессором В.Б. Комаровым, стал одним из основных учебных пособий для

студентов. Газета «Горняцкая правда» писала 4 мая 1981года: «Звенит звонок. Шахим Хусаинович входит в аудиторию, студенты дружно встают. На их лицах нет равнодушных выражений, – сейчас снова раскроется перед ними удивительный, сложный мир аэрологии, и тайны его поведаст студентам их любимый преподаватель [3].

Давайте приоткроем дверь аудитории и тихонько заглянем внутрь. Идет лекция... Стоит полная тишина. Лишь слышна четкая, неторопливая речь преподавателя. У Килькеева огромный опыт работы. Он умеет заинтересовать студента, старается не только изложить поток информации, но и донести его до ума каждого, чтобы ни у кого не оставалось неясных вопросов. О самых сложных вещах умеет рассказать просто и доходчиво. И так, что студенты успевают записать все самое главное».

Шахим Хусаинович прилагал много сил для того, чтобы не одно десятилетие после Великой Победы ветераны 171-й дивизии и 380-го стрелкового полка могли встречаться в стенах Горного института. Таким его, фронтовика, имевшего 21 награду, в том числе четыре ордена, и запомнили: неутомимого, стройного, со смуглым лицом, с темными живыми глазами и открытым людям сердцем.

### **Список литературы**

1. Белый А. Помнить всех поименно. Изд. «АВОК Северо-Запад» Санкт-Петербург. 2006.
2. На пороховой бочке (Сборник воспоминаний студентов и сотрудников ЛГИ, работавших в 1941-1942 гг, на спецпроизводстве). Ленинград. 1991.
3. Килькеев Ш.Х. Электронный ресурс. Режим доступа: [spmi.ru/kilkeev-shakhim-khusainovich](http://spmi.ru/kilkeev-shakhim-khusainovich) (дата обращения 10.03.2020).

**УДК 94(47).084.8**

## **ОСКОЛОК У СЕРДЦА**

У каждого своя тропа к Победе.  
Твоя лежала сквозь свинцовый град  
И город, что известен всем на свете –  
Великий и бессмертный Сталинград.

Ты видел, как в огне крошился камень  
И закалялся внутренний металл.  
Вёл за собой, пусть был осколком ранен,  
Что лишь чуть-чуть до сердца не достал.

Ты помнишь, как хирург заштопал бойко,  
Как злой цветок из стали в тело врос.  
Твой путь на запад – мужество и стойкость,  
Где каждый шаг – в слезинках алых рос.

Твой путь вперёд был яростью потока,  
Ломающей преграды всех плотин.  
Ты нёс с собой живую боль востока,  
Чтоб ей пробить дорогу на Берлин.

Последний штурм, отчаянье, отвага,  
Багряный всполох вскинутых знамён –  
И стены неприступного рейхстага  
В отметинах бесчисленных имён...

Твой путь не будет смыт рекой столетий:  
Твои шаги в бессмертный слой легли.  
За каждый вздох и солнце на рассвете –  
Благодарим с поклоном до земли

**10 марта 2020 г.**

**Анатолий и Павел Жигановы** (выпускники кафедры ГМК, 2006 г.)

**УДК 378.6**

## **ВETERАНЫ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ В ИСТОРИИ КАФЕДРЫ «ГОРНЫЕ МАШИНЫ»**

**Казаченко Г.В., Басалай Г.А.**

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

*Приведены краткие сведения по истории развития в Беларуси горного машиностроения и ряда научных направлений в этой области. Подчеркнута роль ветеранов Великой Отечественной войны в восстановлении высшего образования в Беларуси и создании школ по некоторым научным направлениям горного дела.*

*Ключевые слова:* кафедра, торфяные и горные машины, ветераны Великой Отечественной войны

## **VETERANS OF THE GREAT PATRIOTIC WAR IN THE HISTORY OF THE “MINING MACHINES” DEPARTMENT**

**Kazachenko G., Basalai R.**

*Brief information is given on the history of the development of mining engineering in Belarus and a number of scientific areas in this area. The role of veterans of the Great Patriotic War in the restoration of higher education in Belarus and the creation of schools in certain scientific areas of mining was emphasized.*

*Keywords:* department, peat and mining machines, veterans of the Great Patriotic War

Кафедра «Горные машины» основана в Белорусском национальном техническом университете в 1990 году на базе кафедры «Торфяные машины». Эта кафедра была организована после Великой Отечественной войны в связи с восстановлением народного хозяйства в СССР и использованием торфяного сырья в энергетике и сельском хозяйстве. Здесь необходимо отметить, что подготовка инженерных кадров по торфяным машинам осуществлялась в Беларуси кафедрой «Производство торфяного топлива», объединявшей подготовку инженеров-технологов и инженеров-механиков торфяного производства начиная с декабря 1920 года [1]. В этот период преподавание ряда учебных дисциплин из-за отсутствия специалистов в Беларуси осуществлялось учеными Московского торфяного института, которые работали в Минске вахтовым методом.

Вместе с разработкой многочисленных торфяных месторождений в Беларуси организуется и производство торфяных машин для механизаций процессов торфяного производства. Следует отметить, что предприятия торфяного машиностроения в ряде случаев стали основой для создания ведущих объединений горного машиностроения Беларуси и Советского Союза. Это в первую очередь относится к производству карьерных автосамосвалов на Белорусском автомобильном заводе в г. Жодино [2]. Этот завод был создан на базе завода торфяного машиностроения в этом же городе. Период создания завода БелАЗ относится к послевоенному времени. К послевоенному времени относится и создание большинства горнодобывающих предприятий Беларуси. Особое значение для экономики республики имело освоение с 1964 года Старобинского месторождения калийных со-

лей, добыча которых в настоящее время осуществляется объединением «Беларуськалий». Горнодобывающая промышленность Беларуси представлена также рядом предприятий по добыче полезных ископаемых открытым способом (РУПП «Гранит», «Доломит» и др.), а также разработкой месторождений нефти на Белорусском Полесье производственным объединением «Белоруснефть».

Подготовка инженеров для горно-перерабатывающей промышленности осуществлялась как в Беларуси, так и в других республиках Советского Союза. Во время Великой Отечественной войны большинство работников горнодобывающей промышленности принимали участие в борьбе с немецко-фашистскими захватчиками, как на её фронтах, так и в составе отрядов партизанского движения. Многие из них награждены медалями и орденами Советского Союза, а выпускник торфяного факультета Белорусского политехнического института Малышев Федор Алексеевич удостоен звания «Герой Советского Союза». Значительный вклад в победу нашей страны над фашистской Германией внесли шахтеры и другие горняки, обеспечившие основные потребности нашего общего государства в сырье и других стратегических материалах для производства вооружений.

Восстановление Белорусского политехнического института и в его составе кафедр по подготовке инженеров для торфяной и горнодобывающей промышленности Беларуси осуществлено специалистами, принимавшими участие в Великой Отечественной войне. Среди них кандидаты технических наук, доценты Волкус С. П., Овчинников С. С., Харитонович Н.Н. и другие. Инженерами на кафедре плодотворно работали Юркевич А. Д., Шаблинский Н.И., Фролов В.П. и Тукаль А.П.

Большой неопределимый вклад в развитие механики машин для добычи и переработки торфа, а также механики фрикционных механизмов внес профессор, член-корреспондент НАН Беларуси Федор Александрович Опейко (1908–1970). Во время войны Ф.А. Опейко преподавал в одном из техникумов г. Челябинска. Его работы по повороту гусеничных машин были использованы при проектировании механизмов поворота боевых гусеничных машин [3]. Работы Ф.А. Опейко являются также теоретической базой разработки механизмов перемещения и подачи горных машин на гусеничных движителях, особенно проходческих комбайнов, щеленарезных машин, а также ряда технологических машин на колесных движителях [4].

Научные интересы, как самого Федора Александровича, так и его последователей и учеников замыкались не только на движителях горных машин, но и на процессах добычи и переработки ряды горных пород, в частности, торфа. В этом отношении сложились совместные белорусско-российские научные направления. Например, при расчете энергозатрат на разрушение массива торфяной залежи снятием стружек Ф.А. Опейко рекомендовал использовать зависимость, предложенную проф. Петербургского института И.А. Тиме. Им также была предложена математическая модель оценки степени воздействия механизмов переработки на вязко-

пластические горные породы. И в этом смысле в БНТУ была сформирована научная школа, которая состояла в первый период из участников Великой Отечественной войны: Волкуса С. П., Овчинникова С. С., Харитоновича Н. Н. и других. Эти люди посвятили себя определению физико-технических свойств горных пород и разработке методов расчета различных механизмов их добычи и переработки. Процессы пневмотранспорта и обеспыливания горных пород получили развитие в научных трудах профессора Кислова Николая Владимировича [5], который с 1970 по 1987 годы возглавлял кафедру «Торфяные машины» Белорусского политехнического института. Николай Владимирович поддерживал тесные контакты с ведущими учеными Российских и Украинских институтов горного профиля, в частности, с заведующим кафедрой «Горные машины и комплексы» Свердловского горного института (Уральского государственного горного университета) профессором В.Р. Кубачеком.

Хотелось бы отметить одну судьбоносную страницу военного лихолетья в биографии Н.В. Кислова. В июне 1941 года 9-летний Н. Кислов был эвакуирован вместе с ребятами пионерского лагеря, который располагался недалеко от границы с Польшей, одним из последних железнодорожных составов под непрерывными налетами вражеских самолетов в глубокий тыл СССР – в регион г. Ижевска. После освобождения в июле 1944 года Красной армией территории Беларуси от фашистских захватчиков не по годам повзрослевший Николай вернулся к родителям в Пинск, которые все это время, находясь в оккупации, ничего не знали о его судьбе.

В послевоенный период под руководством Ф.А. Опейко на кафедре были продолжены научные исследования по теории гусеничных движителей. В этом направлении успешно работали его ученики: Гуськов В.В, Давыдик И. И., Опейко А. Ф. и Казаченко Г. В. и другие.

Георгий Васильевич Казаченко заведовал кафедрой в период динамичных общественно-социальных процессов, происходивших в 90-е годы прошлого столетия, – период развала Советского Союза и становления независимой, суверенной Республики Беларусь. По его инициативе были установлены творческие связи с руководителями объединения «Беларуськалий», в результате этого сотрудничества и запросов других предприятий горной промышленности Беларуси кафедра «Торфяные машины» в 1997 году была переименована в «Горные машины». Это придало весомый импульс для дальнейшего развития горной науки в Беларуси с учетом перспективных планов освоения новых месторождений полезных ископаемых, а также оказания экспортных образовательных услуг – подготовке специалистов для Туркменистана, Узбекистана и других зарубежных стран.

В настоящее время преподавателями кафедры обеспечивается учебный процесс по подготовке специалистов специальности «Горные машины и оборудование» по двум направлениям; «Электромеханика» и «Обогатительно-перерабатывающее производство», подготовлено несколько учебных пособий по дисциплинам горного профиля. [6, 7].

Учебный и воспитательный процесс со студентами и молодыми учеными на кафедре базируется на славных традициях и свершениях глубокоуважаемых ветеранов Великой Отечественной войны и направлен на подготовку высококвалифицированных специалистов горного профиля в сотрудничестве с ведущими университетами Российской Федерации.

### **Список литературы:**

1. История Белорусского национального технического университета / К.И. Баландин [и др.] под общ. ред. Б.М. Хрусталева. – Мн. : БНТУ, 2006. – 232 с.
2. Груздев, Н.И. Танки : Теория. Учебное пособие. – Москва ; Свердловск : Гос. изд-во машиностроит. лит., 1944. – 481 с.
3. Белорусский автомобильный. 1948 – 1998 / Л.И. Добрых [и др.] (Ред.коллегия: П.Л. Мариев, А.Н. Егоров, Ю.А. Домнин). – Мн. : «Тэхналогія», 1998. – 125 с.
4. Опейко Ф.А. Торфяные машины – Мн.: Вышэйшая школа, 1968. – 408 с.
5. Хрусталева Б.М., Кислов Н.В. Пневматический транспорт. – Мн. : ООО «Информационная служба недвижимости», 1998. – 452 с.
6. Горные машины : учебное пособие. В 2 ч. Ч. 1. Основы теории / Г.В. Казаченко [и др.] ; под общ. ред. В. Я. Прушака. – Минск : Вышэйшая школа, 2018. – 183 с.
7. Горные машины : учебное пособие. В 2 ч. Ч. 2. Машины и комплексы для добычи полезных ископаемых / Г. В. Казаченко, В. Я. Прушак, Г. А. Басалай ; под общ. ред. В. Я. Прушака. – Минск : Вышэйшая школа, 2018. – 228 с.

УДК 622.331(09)

## ТЕХНИКА ТОРФЯНОЙ ОТРАСЛИ В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ

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. Представлены основные достижения в механизации отдельных этапов подготовки и добычи торфа в годы войны.*

*Ключевые слова:* торфяные машины и оборудование, торфяное топливо, Великая Отечественная война.

## PEAT MACHINERY IN YEARS OF GREAT PATRIOTIC WAR

L.V. Kopenkina

*The article emphasizes the great importance of peat fuel for providing power plants and enterprises of our country during the Great Patriotic War. The main achievements in the mechanization of individual stages of the preparation and extraction of peat during the war are presented.*

*Keywords:* peat machines and equipment, peat fuel, Great Patriotic War.

В годы Великой Отечественной войны работники торфяной отрасли обеспечили жизнеспособность блокадного Ленинграда, промышленных предприятий центральных областей Северо-Запада и Урала – Московской, Ярославской, Ивановской, Горьковской, Кировской, Калининской, Ленинградской, Свердловской. В этих областях торф бесперебойно подавался на электростанции, которые работали с полной нагрузкой и обеспечивали электроснабжение промышленных предприятий [1].

В апреле 1940 г. торфяные предприятия, обслуживавшие районные электростанции, были переданы из ведения Народного комиссариата местной топливной промышленности РСФСР в ведение Народного комиссариата электростанций СССР, что в годы войны сыграло немаловажную роль в обеспечении торфяным топливом электростанций и промышленных предприятий [1].

На торфяных предприятиях Наркомата электростанций в 1940 г. было добыто 13 445 тыс. т торфа (41,9% всей добычи торфа по Советскому Союзу). Полностью на торфяном топливе работали Ярославская, Калининская, Ивановская, Брянская энергосистемы и крупнейшие электростанции – Шатурская, Горьковская, Дубровская и др. Удельный вес торфа в балансе топлива Наркомата электростанций в 1940 г. составлял 19,7% [1].

В период блокады 5-я ГРЭС (ЛГЭС-5, Красный Октябрь) была единственным источником, обеспечивающим Ленинград электроэнергией.

Зимой 1941-1942 гг. по проекту профессора Т.Ф. Макарьева под котлом соорудили вихревую топку с горизонтальным транспортером, с которого фрезерный торф взвивался потоками воздуха с помощью сопел. Это изобретение решило проблему сжигания высоко влажного торфа, имеющегося на торфопредприятиях Всеволожского района.



Основными научными центрами создания техники торфяной отрасли в годы Великой Отечественной войны были Московский торфяной институт (МТИ), Всесоюзный научно-исследовательский институт торфяной промышленности (ВНИИТП), организованный в конце 1941 года на основе Всесоюзного института механизации торфяной промышленности (ВИМТ) и научно-исследовательского института торфяной промышленности (Инсторф).

В ноябре 1941 года Московский торфяной институт был эвакуирован в г. Свердловск. В Москве был организован сектор и цех особых работ, выполнявшие заказы фронта. Цех был создан на базе имевшегося оборудования в лабораториях специальных кафедр и учебно-производственной мастерской.

С целью подготовки кадров для торфодобывающей промышленности Главторф организовал курсы. Преподаватели и студенты Московского торфяного института и торфяных техникумов работали бригадами, мотористами, рабочими на торфопредприятиях.

В начале войны отраслевой научный центр – ВНИИТП был эвакуирован на Урал (торфопредприятие «Монетное» Свердловского торфотреста), в 1943 г. переведен на Торфяную опытную станцию.

После прорыва блокады, 12–18 января 1943 года, по специально построенной за 40 дней железнодорожной ветке по берегу Ладожского канала и временному мосту через Неву в нескольких сотнях метрах от линии фронта стал поступать в Ленинград с торфопредприятия Назия кусковой торф. В 1943 году на 5-ю и 2-ю ГРЭС было поставлено 593 тыс. т торфа, в 1944 году – 840 тыс. т [2]. Благодаря этому промышленность города продолжала производить оружие для фронта.

В феврале 1944 года в Ленинграде был организован филиал ВНИИТП, а затем полностью восстановлен этот научный центр.

Сезон добычи торфа 1942 года был самым трудным за все годы войны. Требовалось много различного оборудования для добычи торфа, стали для массопроводных труб, проводов для линий электропередачи для электроснабжения новых участков по добыче торфа.

С целью интенсификации осушения торфяных площадей во ВНИИТП была разработана дренажно-дисковая машина (ДДМ-5) в 1943 году. В процессе работы фреза прорезала в залежи щель (дрену) трапецеидальной формы. Сфрезерованная залежь выбрасывалась на поверхность. В верхней своей части при помощи специального аппарата дрена закрывалась торфяной массой.

В эти годы проводили исследования проходимости на слабых, сильно увлажненных грунтах и неосушенной торфяной залежи.

Под руководством профессора Н.А. Наседкина в МТИ проводились исследования проходимости танков и машин через болотистые местности.

В 1943 году коллективом ВНИИТП для сооружения открытой сети каналов и канав различных сечений, необходимых для осушения торфяных

массивов, был создан экскаватор ТЭ-2: гусеничный, полноповоротный, одноковшовый, для работы на слабых, сильно увлажненных грунтах и неосушенной торфяной залежи, а также работы по рытью рек и каналов.

В зависимости от типа работ экскаватор был оснащен сменным оборудованием: прямая лопата; обратная лопата; драглайн.

С целью повышения производительности была механизирована уборка фрезерной крошки из валка.

В 1944 году во ВНИИТП была создана и испытана новая уборочная машина УМПФ-4 для уборки фрезерного торфа, принятая к серийному выпуску и внедрению в торфяную промышленность. Машина осуществляла сбор фрезерной крошки в бункер из валков и ее транспортировку с выгрузкой. Схема уборки фрезерного торфа упростилась и повысилась производительность добычи фрезерного торфа.

Механизация экскавации пнистых торфяных залежей проводилась с целью повышения производительности.

С 1940 года ВИМТ искал способы увеличения производительности элеваторных и экскаваторных машин.

Решением проблемы стало создание в 1942 году во ВНИИТП багерно-элеваторной машины. Идея заключалась в использовании поворотной однорядной многоковшовой со значительным тяговым усилием. В этом случае, пень может быть выкорчеван большим усилием тяговой цепи или, в случае большого размера, временно обойден.

Механизация транспорта и выстилки торфа-сырца позволила повысить качество торфяного куска.

В 1943 году во ВНИИТП была разработана модель стилочной машины ЭСМ-7. Применение стилочных машин дало возможность увеличить производительность добычи и качество добываемой продукции и снизить ее себестоимость.

В связи с вводом этих машин появилась необходимость в реконструкции экскаваторов. Проблема выражалась в несоответствии производительностей экскаватора и прессы стилочной машины.

В 1943 году в МТИ Солопов С.Г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Рациональный метод стилки торфа-сырца при машиноформовочном способе добычи».

Во время войны на кафедре механической переработки торфа МТИ проводились научные исследования в области механики и физики дисперсных систем, в том числе торфа как дисперсной системы.

В 1940-1943 годах на кафедре механической переработки торфа МТИ проводились исследования технологии брикетирования различных отходов и растений (тростника, льняной коры, древесных опилок, осадка сточных вод), а также брикетированию торфа с различными добавками: торфяным пеком, сульфитным щелоком, кислым гудроном и каменно-угольным штыбом для топливных целей (В.Н. Иванов, М.И. Сарматов, М.З. Михайлова, С.А. Катков).

В 1942 году на торфопредприятиях Главторфа НКЭС СССР было добыто 8 млн. т торфа. В 1943 году торфопредприятия Главторфа добыли 11,2 млн. т торфа, т. е. больше, чем в 1940 году [3]. Все годы войны торфопредприятия Главторфа полностью удовлетворяли потребность электростанций в торфе, а также нужды многочисленных промышленных предприятий страны.

За успешное выполнение заданий правительства по добыче торфа в сезоне 1943 года Указом Президиума Верховного Совета СССР было награждено 465 работников торфяной промышленности [4].

Орденом Ленина были награждены 9 человек, в том числе заместитель Наркома электростанций А.Ф. Баусин, главный инженер Главторфа Н.Н. Самсонов, управляющий Чернораменским торфотрестом и директора Чернораменского и Петровско-Кобелевского торфопредприятий.

Орденом Трудового Красного Знамени были награждены 48 человек, в том числе управляющие торфотрестами: Горьковским, Ивановским, Калининским, Ореховским, Свердловским, Шатурским, Ярославским.

За большой вклад в победу в Великой Отечественной войне многие ученые и педагоги были награждены орденами и медалями.

Профессор Михаил Петрович Воларович был награжден орденом Ленина. Под его руководством в годы войны в лаборатории кафедры физики МТИ исследовались оптимальные составы смазочных масел, облегчающие запуск двигателей танков и машин при низких температурах.

Орденом «Знак Почета» были награждены начальник конструкторского отдела ВНИИТП А.А. Соколов, профессора Московского торфяного института И.Г. Блох, И.Н. Глыбовский, В.Г. Горячкин, декан факультета М.А. Веллер, заведующий учебной частью В.В. Блюменберг и директор института С.А. Цупров.

### **Список литературы**

1. Баусин А.Ф. Вклад торфяников в дело обороны Родины // Торфяная промышленность. 1943. № 6. С. 7–8.
2. Басов А.П. Торф в энергетическом балансе Ленинграда // Торфяная промышленность. 1970. № 4. С. 14–17.
3. Синецын Н.А., Хазанов Я.Н. Развитие добычи торфа в СССР // 40 лет торфяной промышленности СССР. Сб.: М.-Л.: Госэнергоиздат, 1957. С. 33–39.
4. Указ Президиума Верховного Совета СССР о награждении орденами и медалями работников торфяной промышленности // Торфяная промышленность. 1943. № 6. С. 1–6.

## **Машины и оборудование для открытых и подземных горных работ**

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

Доц. П.А. Жиганов

УДК622.331:553.04:622.271.9

## МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, КАК КЛАСС ГОРНЫХ МАШИН ДЛЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

Зюзин Б.Ф.<sup>1</sup>, Жигульская А.И.<sup>1</sup>, Яконовская Т.Б.<sup>1</sup>, Оганесян А.С.<sup>1</sup>, Смирнов К.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Тверской государственный технический университет, г. Тверь

*Для машин и оборудования для разработки торфяных месторождений обоснована принадлежность к классу горных машин для открытых горных работ, рассмотрена классификация средств комплексной механизации безотходной круглогодичной добычи и переработки торфодревесного сырья.*

**Ключевые слова:** машины и оборудование для разработки торфяных месторождений, комплексы для подготовки, добычи и переработки торфяного сырья.

## MACHINES AND EQUIPMENT FOR THE DEVELOPMENT OF PEAT DEPOSITS AS A CLASS OF MINING MACHINES FOR OPEN CAST MINING

Zyuzin B., Zhigulskaya A., Yakonovskaya T., Oganesyana., Smirnov K.

*For machines and equipment for the development of peat deposits, it is substantiated that they belong to the class of mining machines for open cast mining, the classification of the means of complex mechanization of non-waste round-wild extraction and processing of peat-wood raw materials is considered.*

**Keywords:** machines and equipment for the development of peat deposits, complexes for preparation, extraction and processing of peat raw materials.

Тверской государственный технический университет (приемник Московского торфяного института) традиционно поддерживает подготовку инженерно-технических специалистов в области механизации процессов разработки торфяных месторождений, добычи и переработки торфяной продукции (рис. 1) по направлению 151000 – «Технологические машины и оборудование» по профилю 15.03.02 – «Технологические машины и оборудование для разработки торфяных месторождений».



Рис. 1. Комплексы технологических машин и оборудования для разработки торфяных месторождений

Вследствие укрупнения научных специальностей, как таковой класс торфяных машин и оборудования был отнесен к горным машинам для открытых горных работ и был включен в научное направление – «Машино-

строение». Кафедра «Торфяные машины и оборудование» в 2019 году была переименована и стала называться «Технологические машины и оборудование».

Современные условия торфодобывающего и торфоперерабатывающего производств диктуют новые требования к технологическому торфяному оборудованию и машинам [2, 3].

Существующие классификации торфяных машин и оборудования [1] рассматривают технику, участвующую в процессе добычи торфа отдельно от оборудования, задействованного в его переработке:

- комплекс машин для подготовки торфяного месторождения к эксплуатации: осушение, свodka леса, корчевание, профилирование;
- комплекс машин для добычи торфа: резной способ, фрезерный способ, карьерный способ, добыча кускового торфа;
- комплекс заводского оборудования для получения торфяной продукции: удобрений, брикетов, теплоизоляционных плит и сорбентов.

Комплексная механизация производственных процессов **безотходной добычи и переработки торфодревесного сырья** осуществляется машинами для отдельных рабочих операций, или агрегированием их в одной машине. При комплектовании системы машин для производства работ необходимо, чтобы выбор их отвечал условиям: естественным (тип и вид торфа, пнистость, стратиграфическая, гидрологическая характеристика залежи и др.); технологическим и техническим (эксплуатационная влажность залежи и влажность продукции, плотность, дисперсность, прочность, фракционность, производительность машин); экономическим (производительность труда, размер капитальных затрат, себестоимость торфяной продукции, прибыль и т.д.). Создание комплексных агрегатов для **безотходной круглогодичной добычи и переработки торфодревесного сырья** в технико-экономическом отношении является наиболее выгодным [3].

Концепция вновь созданной классификации базируется на принципе безотходного использования ресурсов россыпных месторождений. Средства комплексной механизации безотходной добычи и переработки торфодревесного сырья делятся на два класса согласно горнотехническим условиям:

1. Комплексы машин для работы на неосушенных залежах.
2. Комплексы машин для круглогодичной работы на залежах, готовых к эксплуатации.

В эти классы входит ряд комплексов машин, каждый из которых отличается друг от друга технологическим процессом добычи и переработки торфодревесного сырья и количеством машин, агрегатов, комбайнов, обеспечивающих комплексную механизацию этого процесса – комплект или комплекс.

При подборе машин для комплекса соблюдают следующие основные требования: максимальная поточность процесса производства горных

работ (на примере торфяного производства) с наименьшим числом перегрузочных пунктов и возможностью автоматизации процесса; соответствие производительности всех машин, входящих в комплекс, максимальной производительности ведущей машины, выполняющей основной процесс (глубокое фрезерование с погрузкой торфодревесного сырья), полное использование времени смены при назначении режима работы комплекса машин, минимум затрат времени на перерывы в рабочих операциях и маневры машины.

Разработанная классификация средств комплексной механизации безотходной круглогодичной добычи и переработки торфодревесного сырья (рис. 2), позволяет анализировать весь процесс механизации добычи и переработки ресурсов торфяных месторождений с позиции количества машин, осуществляющих ту или иную технологическую операцию и степени ее сложности; решать задачи по осуществлению непрерывности технологического процесса и дальнейшей его автоматизации [4-6].

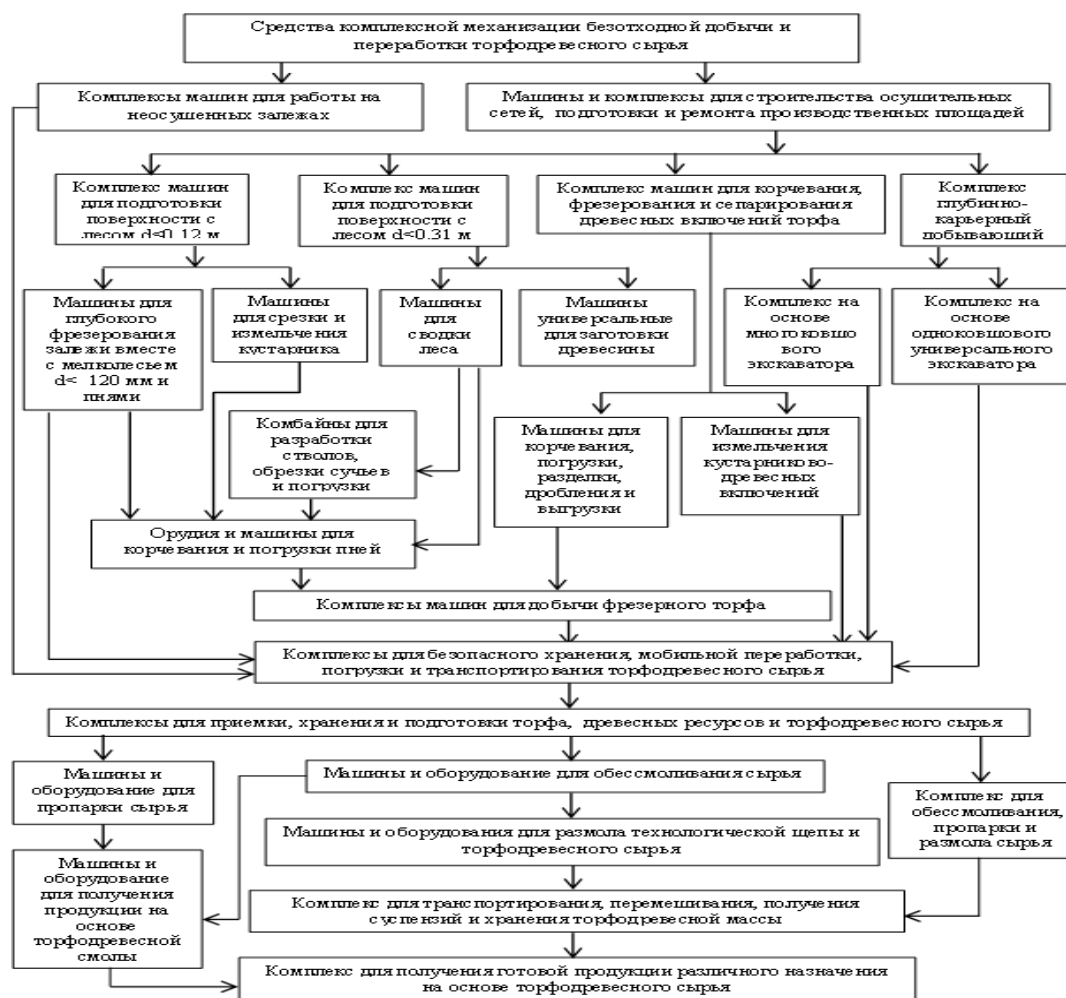


Рис. 2. Классификация средств комплексной механизации безотходной добычи и переработки торфодревесного сырья

Предлагаемая классификация (рис. 2) [4] позволяет компоновать технологические комплексы машин и оборудования в различных вариантах в

зависимости от способа получения сырья для переработки и ассортимента выпускаемой готовой продукции.

Рациональное использование ресурсов торфяных месторождений требует создания новых природоохранных технологий и мобильных комплексов для переработки сырья в полевых условиях. Такой вариант комплексной механизации обеспечит сокращение количества технологических машин, уменьшение металлоемкости и энергоемкости оборудования, снижение цены продукции. При использовании мобильных комплексов возможно совмещение несколько производственных линий различного назначения и создание энергонезависимого универсального производства [7-9]. Конечная цель данной работы – это снижение энергоемкости процессов подготовки, добычи и переработки ресурсов торфяного месторождения и создание круглогодичного безотходного экологически безопасного торфяного производства.

### Список литературы

1. Торфяные машины и комплексы: учебник для вузов / С.Г. Солопов, Л.О. Горцакалян, Л.Н. Самсонов, В.И. Цветков. 2-е изд. М.: Недра, 1981. 416 с.
2. Жигульская, А.И. Научные основы комплексной механизации безотходной круглогодичной технологии добычи и переработки ресурсов торфяных месторождений: монография / А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовская. Тверь: ТвГТУ, 2014. 193 с. 58.
3. Жигульская, А.И. Экономическая классификация способов разработки торфяного месторождения: рентный подход / А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовская, Б.Ф. Зюзин // Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: МГГУ, 2014. № 07. С. 318.
4. Жигульская, А.И. Классификация машин и оборудования для добычи и переработки древесных ресурсов торфяного месторождения / А.И. Жигульская, А.В. Лемешев, А.М. Гусева, И.С. Бурмистров // Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: МГГУ, 2014. № 11. С. 144 – 150.
5. Зюзин, Б.Ф. Машины и оборудование торфяных производств. Учебное пособие / Б.Ф. Зюзин, А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовская. Тверь:ТвГТУ, 2015. 160с.
6. Mikhailov A.V., Zhigulskaya A.I., Yakonovskaya T.B. Excavating and loading equipment for peat mining//Всборнике: [IOP Conference Series: Earth and Environmental Science](#) [Electronic resource]. 2017. С. 022014.
7. Mikhailov A.V., Zhigulskaya A.I., Yakonovskaya T.B.[Strip mining of peat deposit](#)// В сборнике: [Mine Planning and Equipment Selection: MPES 2017](#)Proceeding of the 26th International Symposium. Edited by BehzadGhodrat, Uday Kumar, HåkanSchunnesson. 2017. С. 497-501.
8. Жигульская, А.И. Выбор машин для технологических схем выемки вскрыши торфяного месторождения / А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовская, М.А. Жигульский, А.С. Оганесян, Н.С. Григорьева // В сборнике: Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики. Материалы конференции. Тульский государственный университет; Под редакцией Р.А. Ковалева. 2017. С. 181-186.
9. Зюзин, Б.Ф. Комплексное использование торфяных и древесных ресурсов / Б.Ф. Зюзин, А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовская, М.А. Жигульский, А.С. Оганесян // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья: сб. докл. Междунар. науч. конф. (Минск, 14 – 17 сент. 2016 г.). В 2 т. Т. 2 // Нац. акад. наук Беларуси, редкол. В.Г. Гусаков (гл. ред.). Минск: Беларуская наука, 2016. С. 152 – 156.



УДК 622.022

## МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ И ЗОН КОНТАКТОВ ДИСКОВЫХ ШАРОШЕК С ПОРОДОЙ ПРИ ПРОХОДКЕ В СМЕШАННЫХ ГРУНТАХ

Губанов С. Г., Пецык А. А.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский технологический университет “МИСиС”, г. Москва

*В работе рассмотрены вопросы распространения трещин в породах при проходке, в зависимости от расстояния между шарошками. Решение вопроса найдено с помощью программного комплекса Autodesk Inventor Nastran.*

**Ключевые слова:** шарошки, моделирование, буровая машина, шаг шарошки.

## MODELING OF TENSIONS AND CONTACT ZONES OF DISK BARS WITH BREEDS WHILE PASSING IN MIXED SOILS

Gubanov S.G., Petsyk A.A.

*This article discusses the propagation of cracks in the rocks during drilling, depending on the distance between the cutters. The solution to this issue was found using the Autodesk Inventor Nastran software package.*

**Keywords:** cones, modeling, drilling machine, cone pitch.

В процессе строительства тоннелей встречаются различные геологические условия, которые оказывают большое влияние на работу проходческой машины. Свойства пород, внутрипластовое напряжение, расположение дисковых шарошек, оказывают большое влияние на производительность проходческих работ [1, 3, 5].

Для изучения влияния расстояния между зонами контакта и направления, ограничивающего напряжения, были выбраны четыре диапазона расстояния между зонами контакта со значениями 50 мм, 100 мм, 150 мм и 200 мм, с различными углами падения зоны контакта ( $\alpha$  на рис.1) со значениями 15°, 30°, 45°, 60°, 75° или 90°. Распространение трещины смоделируем с помощью Autodesk Inventor Nastran.

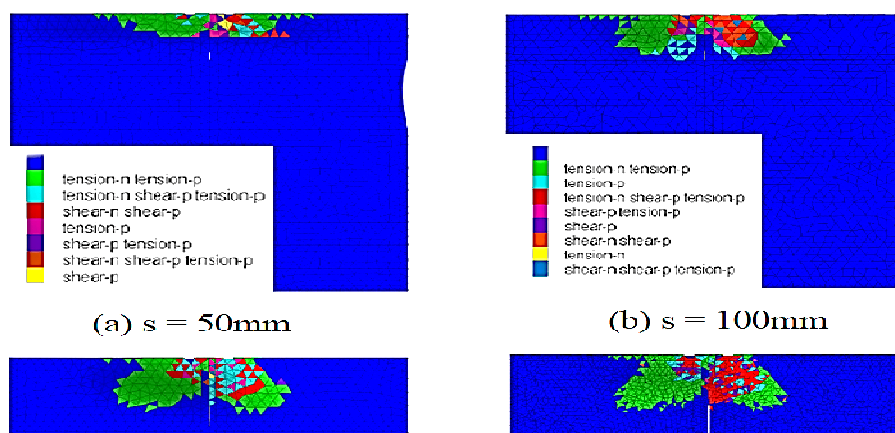


Рисунок 1. Распределение напряжений при шаге 60 мм

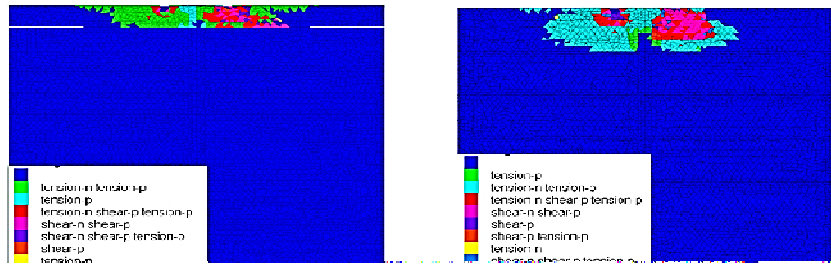


Рисунок 2. Распределение напряжений при шаге 100 мм

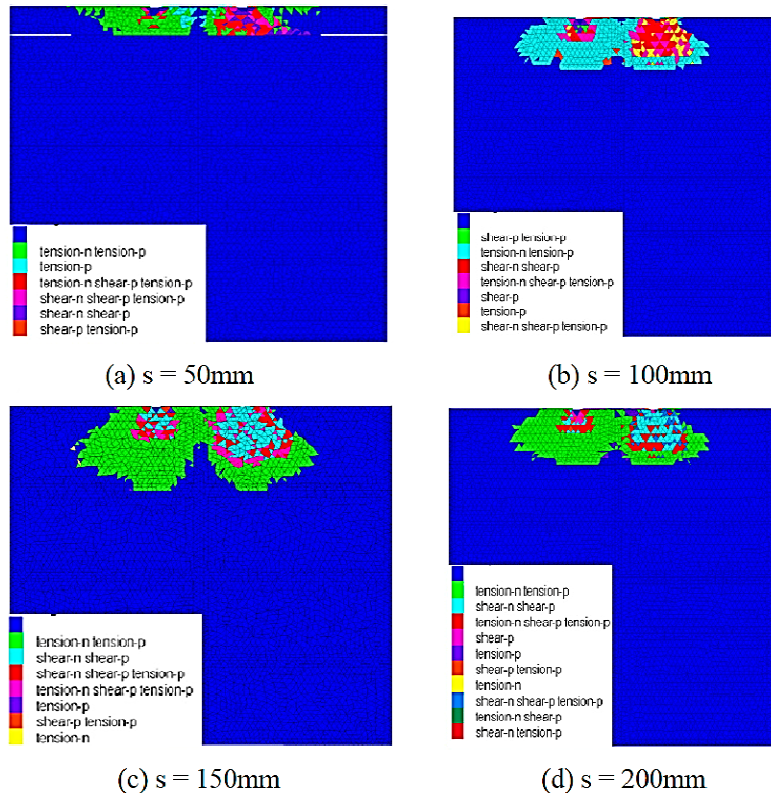


Рисунок 3. Распределение напряжений при шаге 140 мм

Если сравнивать полученные данные, то при уменьшении расстояния между зонами контакта мы получаем увеличенное напряжение для создания трещин и разрушения породы. С увеличением же расстояние между зонами контакта, зона разрушения и зона пластичности разрастаются, приводя к увеличению скола, особенно в мягких породах [4]. Кроме всего в одинаковых условиях твердые и мягкие породы образуют разную сеть трещин, что приводит к неравномерной проходке и уменьшению производительности проходческой машины. Проведения инженерного расчёта в Autodesk Inventor Nastran, позволило нам прийти к выводу, что существенное увеличение производительности возможно при оптимальном расстоянии между шарошками.

Для выбора оптимальных значений угла мы установим расстояние между шарошками в 80 мм, а выборка значений углов будет  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $75^\circ$  или  $90^\circ$  по направления к мягкой породе. Этот выбор обусловлен

легкостью, с которой шарошка войдет сначала в более податливую породу для создания сколов.

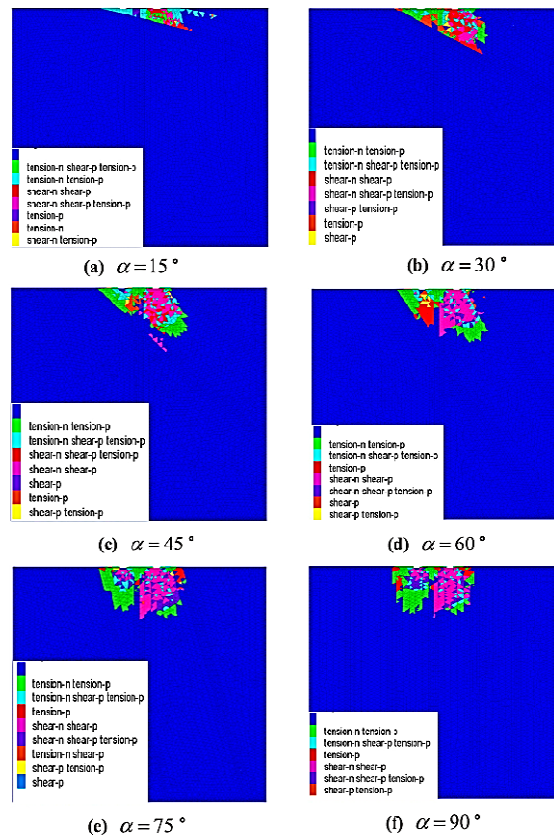


Рисунок 4. Распределение напряжений при изменении угла откоса

Исходя из рисунка, можно заметить, что при воздействии на породу в зоне контакта, при  $15^\circ$ , увеличивается зона проникновения и зона дробления заметна в более мягких породах.

Приведенные выше исследования показывают, что изменение угла зоны контакта в сторону мягких пород увеличивает разрушение горных пород вдоль этого направления [2]. Таким образом, плоскость зоны контакта, как точка отсчета создания трещин, благоприятно отображает дальнейшее распространение трещин по породе, при этом большой угол блокирует распространение дополнительных трещин в другом направлении. Основная причина этого явления заключается в том, что угол между плоскостью соединения и направлением проникновения больше, пространство между плоскостью зоны контакта и границей раздела относительно мало в этом исследовании, что приводит к более легкому разрушению породы, но с меньшей зоной разрушения.

С увеличением расстояния между зонами контакта с углом падения  $0^\circ$  в процессе разрушения горных пород возникают два режима фрагментации. Более широкая пластическая зона и дробленая зона могут распространяться вниз внутри горных пород, особенно для мягких пород, диапазон зоны разрушения сдвига шире, что очень выгодно для эффективности ре-

зания. Кроме того, фрагментация породы с учетом изменения угла падения зоны контакта, указывает на то, что ориентация зоны контакта может контролировать процесс разрушения породы, а меньший угол падения вызывает более легкое распространение трещин вдоль плоскости зоны контакта. Кроме того, с увеличением ограничивающего напряжения, пластическая зона с разрывным разрушением в твердых породах не изменяется явно, но диапазон пластической зоны в мягких породах изменяется шире и сдвиговое разрушение распространяется вдоль свободной поверхности и слабой границы раздела. Это приводит к отсутствию достаточного количества трещин для образования сколов породы и снижению эффективности фрагментации.

### **Список литературы**

1. Yungmeyster, D.A., Isaev, A.I. Tunneling systems fitted with duplex-impact operating member for the short relieving tunnel driving with tubbing lining // Journal of Industrial Pollution Control. 2017
2. Yungmeyster, D.A., Isaev, A.I. Rationale for the parameters of bore hammer for tunneling the service roadways in Cambrian clays // Journal of Industrial Pollution Control. 2017
3. Секретов М. В. Способ ударного распиливания горных пород // ГИАБ. 2018. № 9. С. 81–89
4. Зайков В. И., Бугаков А.В. Расчет производительности проходческих щитов, темпов проходки и сооружения тоннелей // Горный информационно-аналитический бюллетень. 1999. № 6. С. 11-12.
5. Чунюк Д.Ю., Косарева В.А., Косарева В.А. Выбор тоннельной буровой машины в сложных грунтовых условиях // Научное обозрение. 2016. № 22. С. 53-56.

УДК 622.35+504.3

## ПРИРОДООХРАННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ГРАНИТА

**Басалай И.А., Басалай Г.А.**

Белорусский национальный технический университет, г. Минск,  
Республика Беларусь

*В работе выполнен анализ воздействия производственной деятельности дробильно-сортировочного завода (ДСЗ) предприятия по производству щебня на окружающую среду. Процессы добычи, обработки и использования плотных горных пород сопровождаются постоянным выбросом неорганической пыли в больших объемах. Повышение экологической эффективности производства, направленной на охрану атмосферного воздуха, обеспечивается предотвращением сверхнормативного загрязнения атмосферы и обеспечением выброса неорганической пыли на выходе из источника не выше установленного норматива.*

**Ключевые слова:** переработка гранита, дробильно-сортировочный завод, производство щебня, выбросы загрязняющих веществ.

## ENVIRONMENTAL ACTIVITY OF THE COMPANY ON GRANITE PROCESSING

**Basalai I., Basalai R.**

*The paper considers the impact of the production activity of the rock-crushing plant (RCP) producing breakstone on the environment. The processes of mining, processing and use of dense rocks are accompanied by the constant emission of inorganic dust in large volumes into the atmosphere. Improving the environmental efficiency of production activity aimed at protecting the atmospheric air is ensured by preventing excessive air pollution as well as ensuring a set amount of inorganic dust emission into the atmosphere, the latter being not higher than the established standard.*

**Keywords:** granite processing, producing breakstone, rock-crushing plant, pollutant emissions

**Введение.** На стадиях добычи, обработки и использования нерудных строительных материалов возникают многочисленные экологические проблемы: разработка месторождения сопровождается значительным изъятием земель, эрозией грунтов, гидрологическими изменениями и загрязнением вод, пылевым и шумовым загрязнением окружающей среды. Одной из самых серьезных проблем данной отрасли является загрязнение атмосферного воздуха и рабочей зоны пылью и целым рядом опасных загрязняющих веществ [1]. Предприятия и профильные организации осуществляют активную природоохранную деятельность.

В связи со спецификой процессов добычи, обработки и использования плотных горных пород основной проблемой является выброс неорганической пыли. Основные источники пылевыделений: бурение скважин и шпуров станками вращательного действия, перфораторное бурение, процессы экскавации, транспортировка автотранспортом, работа скреперов, бульдозеров, процессы дробления. Определенное значение для загрязнения воздуха пылью имеют также взрывные работы, сдувание пыли с бортов карьера, внешних отвалов. Содержание пыли на отдельных рабочих местах в

карьерах в значительной степени зависит от направления и скорости движения ветра [2].

Кроме неорганической пыли в атмосферный воздух выбрасывается около 50 видов загрязнителей: оксид и диоксид азота, железо и его соединения, ксилолы, древесная пыль, сернистый ангидрид, сера (IV) оксид, сернистый газ, предельные углеводороды алифатического ряда, угарный газ и другие. Проблема загрязнения атмосферного воздуха загрязняющими веществами и, особенно, пылью является весьма масштабной. С целью минимизации воздействия на предприятиях горнопромышленного комплекса используется различное пылеулавливающее и газоочистное оборудование, применяются различные технологии очистки газов [3-9], позволяющие промышленным предприятиям горнодобывающей отрасли снижать негативную нагрузку на окружающую среду.

#### **Анализ организации производственной и природоохранной деятельности РУПП «Гранит».**

Республиканское унитарное производственное предприятие «Гранит» (РУПП «Гранит») является крупнейшим предприятием в Европе по добыче и переработке плотных горных пород. Сырьем для переработки являются горные породы месторождения «Микашевичи». На предприятии выпускается более 21 млн тонн нерудных строительных материалов в год. Основная деятельность предприятия направлена на обеспечение строительной сферы следующими материалами [10]:

- щебень из плотных горных пород различных фракций для строительных работ, для балластного слоя железнодорожного пути;
- отсев различных фракций из материалов дробления горных пород;
- щебень кубовидный, щебень для заполнения бетона;
- щебеночно-песчаная смесь для дорожного строительства;
- переработанная скальная порода.

РУПП «Гранит» – многофункциональный технологический комплекс. Технологический процесс производства щебня и отсева сосредоточен в трех основных структурных подразделениях: карьер «Микашевичи»; автотранспортный парк; дробильно-сортировочный завод (ДСЗ). Технологическая схема разработки горных пород в карьере «Микашевичи» предусматривает ведение вскрышных, буровзрывных и добычных работ. Процесс добычи полезных ископаемых состоит из трех этапов: вскрытие полезных ископаемых (цех Горный), подготовка горной породы к выемке (цех Буровзрывных работ), погрузка взорванной горной массы в автотранспорт, откачка притока грунтовых вод (цех Горный).

В состав ДСЗ входят пять цехов по переработке горной массы и производству щебня, один цех погрузки и два вспомогательных участка.

В производственной деятельности ДСЗ РУПП «Гранит» можно выделить 16 основных технологических операций, для которых используется различное технологическое оборудование и транспорт. Основные производственные мощности сосредоточены на ДСЗ, где происходит непосред-

ственное производство продукции. Специфика деятельности предприятия влечет за собой ряд экологических проблем, которые решаются путем внедрения эффективных природоохранных мероприятий.

### **Анализ воздействия производственной деятельности ДСЗ РУПП «Гранит» на окружающую среду.**

На ДСЗ РУПП «Гранит» свыше 160 источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Фактический выброс в 2018 году составил 294 тонны. Максимально возможное расчетное количество выбросов – 423 тонны. Основными загрязняющими веществами являются:

- пыль неорганическая, содержащая  $\text{SiO}_2$  менее 70 % – 419 т/год;
- углерод оксид (окись углерода, угарный газ) – 2,1 т/год;
- азот (II) оксид (азота оксид) – 1,1 т/год.

Основными источниками выбросов на ДСЗ являются<sup>^</sup>

1. Корпуса дробления (выброс загрязняющих веществ происходит от дробилок щековых, конвейеров, постов выгрузки горной массы, дробилок конусных, вибропитателей, печей плавки цинка, постов сварки, постов резки, маслостанции).

2. Ремонтные корпуса (посты сварки, посты резки, точильно-шлифовальные станки).

3. Цеха сортировки (грохоты, конвейеры, посты сварки, посты резки, дробилки, ленточные питатели, классификаторы).

4. Участок по вулканизации и ремонту конвейерных лент.

5. Корпус сортировки (грохоты, конвейеры, приемные бункеры).

6. Корпус погрузки (конвейеры).

7. Пост выгрузки горной массы (конвейеры).

8. Котельные.

9. Железнодорожный цех погрузки (погрузочные узлы, конвейеры).

Таким образом, ДСЗ РУПП «Гранит» относится к предприятиям, оказывающим существенное воздействие на атмосферный воздух, которое обусловлено масштабами и спецификой деятельности предприятия. Основной загрязнитель – пыль неорганическая, содержащая  $\text{SiO}_2$ . Основным источником выбросов пыли неорганической – корпуса дробления.

Большое количество отходов производства ДСЗ РУПП «Гранит» обусловлено большими площадями, на которых расположено предприятие, (отходы от уборки территории промышленных предприятий) и спецификой предприятия – переработка нерудных материалов (остатки (пыль, крошка, обломки) от переработки гранита).

Ежегодное водопотребление ДСЗ в среднем составляет 150 тыс. м<sup>3</sup> из сетей водопровода, а водоотведение – 140 тыс. м<sup>3</sup> в сети канализации. В поверхностные водные объекты вода не направляется.

### **Природоохранная деятельность РУПП «Гранит» на примере ДСЗ.**

Для решения рассмотренных выше экологических проблем на предприятии активно ведется природоохранная деятельность. Природоохранная деятельность РУПП «Гранит», в том числе и деятельность ДСЗ, прово-

дится в соответствии с утвержденными основными документами: акт инвентаризации выбросов загрязняющих веществ, инструкция по обращению с отходами; инструкция по проведению производственного контроля в области охраны окружающей среды; документация Системы управления окружающей средой (СУОС); планы мероприятий [12,].

В РУПП «Гранит» проведена инвентаризация выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, по результатам инвентаризации разработаны нормативы допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и внесены изменения в разрешение на выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Снижение выбросов загрязняющих веществ достигается внедрением природоохранных мероприятий – за счет модернизации вентиляционного и газоочистного оборудования ДСЗ. Удельный выброс загрязняющих веществ по предприятию составляет около 0,017 кг на тонну продукции.

Для предотвращения загрязнения атмосферного воздуха, снижения количества выбросов загрязняющих веществ на предприятии установлено и эксплуатируется свыше 50 ГОУ. Они предназначены для улавливания неорганической пыли. В ДСЗ используются циклонные установки для очистки воздуха СИОТ различной модификации, группы циклонов, рукавные фильтры и др. Данное оборудование на некоторых этапах обеспечивает необходимую степень очистки. Эксплуатация ГОУ осуществляется согласно Правилам эксплуатации газоочистных установок [13].

Водопотребление-водоотведение ДСЗ ежегодно находится примерно на одинаковом уровне. Превышений концентраций загрязняющих веществ, сбрасываемых в составе сточных вод, за последние годы не выявлено, что говорит об эффективности водопользования.

В 2013 году на предприятии внедрена Система СУОС. СУОС является важной частью природоохранной деятельности предприятия. Экологическая политика соответствует характеру, масштабам и экологическим воздействиям на окружающую среду организации. РУПП «Гранит» устанавливает, внедряет и поддерживает в рабочем состоянии процедуру идентификации экологических аспектов своей деятельности, продукции и услуг, которые оно контролирует и на которые может влиять.

**Заключение.** Анализ воздействия на окружающую среду РУПП «Гранит» и его природоохранной деятельности позволяет сделать вывод, что для ДСЗ РУПП «Гранит» наиболее актуальной является проблема охраны атмосферного воздуха от загрязнения пылегазовыми выбросами.

Повышение экологической эффективности производства за счет осуществления природоохранной деятельности, направленной на охрану атмосферного воздуха, должно обеспечиваться предотвращением сверхнормативного загрязнения атмосферы и обеспечением выброса неорганической пыли на выходе из источника не выше установленного норматива. Для решения данной проблемы внедрены эффективные природоохранные мероприятия.



### Список литературы

1. Маценко, А.М. Эколого-экономические проблемы добычи, обработки и использования гранита / А.М. Маценко, М.А. Козина, Е.И. Маценко // Экология и охрана труда. – 2010. – № 55. – С. 152-155.
2. Чирков, А.С. Добыча и переработка строительных горных пород: учебное пособие для вузов / А.С. Чирков. – М.: Изд. МГГУ, 2001. – 180 с.
3. Кузнецов, И.Е. Оборудование для санитарной очистки газов: справочник / И.Е. Кузнецов. – Киев: Техника, 2011. – 304 с.
4. Балтренас, П.Б. Обеспыливание воздуха на предприятиях стройматериалов. / П.Б. Балтренас. – М.: Стройиздат, 1990. – 180 с.
5. Дубальская, Э.Н. Очистка отходящих газов / Э.Н. Дубальская // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. – 1990. – Вып. 14. – С. 45-58.
6. Кобзарь, И.Г. Процессы и аппараты защиты окружающей среды: курс лекций по дисциплине «Процессы и аппараты защиты окружающей среды». Часть 1: Защита атмосферы / И.Г. Кобзарь, В. В. Козлова. – М.: Высш. школа, 2007. – 234 с.
7. Справочник по пыле- и золоулавливанию / Под ред. А.А. Русанова. – М.: Энергия, 2010. – 296 с.
8. Першин, Г.Д. Современные технологии добычи камня / Г.Д. Першин, Н.Г. Караулов, М.С. Уляков // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. – 2005. – Вып. 3. – С. 5-12.
9. Бретшнайдер, Б. Охрана воздушного бассейна от загрязнений: технология и контроль / Б. Бретшнайдер, И. Курфюст. – СПб.: Химия, 2010. – 288 с.
10. РУПП «Гранит». Микашевичи [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: [www.http//granit.by](http://granit.by). – Дата доступа: 10.04.2018.
11. РУПП «Гранит». Микашевичи [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: [www.http//granit.by/socialreport](http://granit.by/socialreport). – Дата доступа: 12.04.2018.
12. РУПП «Гранит». Микашевичи [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: [www.http//granit.by/iso14000](http://granit.by/iso14000). – Дата доступа 12.04.2018.
13. Правила эксплуатации газоочистных установок, Постановление Минприроды РБ от 14.05.2007 г. № 60 в ред. от 30.11.2007 г. № 97 // Консультант плюс [Электронный ресурс] – Дата доступа 22.04.18. – Микашевичи, 2018.  
*Постановление Минприроды РБ 1 03.01.2019 О признании утратившими силу постановлений Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 14 мая 2007 г. № 6*  
*Взамен введен следующий документ:*  
Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосферный воздух (в том числе озоновый слой). Правила эксплуатации газоочистных установок: ЭкоНиП 17.08.06-002-2018. – Введ. 01.02.19. – Минск: Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 2019. – 25 с.

УДК 622.24.051

## ОПЫТ КОНСТРУИРОВАНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСНОЙ БУРОВОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН С ЦЕЛЬЮ ДОБЫЧИ ВОДЫ

Герасимов А.М., студ., Бочков В.С., доц., канд. техн. наук  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ

*Описана разработка и изготовление буровой установки для бурения скважины с целью добычи воды. Буровая установка может быть изготовлена одним человеком и может эксплуатироваться также одним бурильщиком.*

*Ключевые слова:* буровая установка, конструирование, изготовление, скважина, бурение.

## DEVELOPMENT AND CREATION OF A PORTABLE DRILLING RIG FOR DRILLING A WELL

Gerasimov A.M., Bochkov V.S.

*The results of an experimental study on the development and creation of a drilling rig for drilling a well, serviced by one person, are presented.*

*Keywords:* drilling rig, design, manufacturing, well, drilling.

Цель работы – разработать и изготовить мобильную буровую установку для бурения скважины под воду, которую может собрать и обслуживать один человек.

Поставив цель и представив результат, мы разбили путь ее достижения на несколько более мелких целей: 1) буровая установка должна быть легко передвижной; 2) конструкция установки должна быть максимально надежной и простой; 3) работать за установкой может один человек и не испытывать неудобств; 4) обслуживание установки не должно быть сложным.

Разрабатывая конструкцию, подходящую всем пунктам, мы с руководителем проекта пришли к тому, что согласно пункту №1 установка должна помещаться в автомобильный прицеп и не превышать допустимую нагрузку по весу. Для того чтобы вынимать породу из скважины было удобно, нам нужно было построить вышку. На её изготовление потребовалось 5 труб диаметром 100 мм, 2 трубы 50 мм и 2 трубы 120 мм. Конструкция состояла из двух опор в форме треугольника с перекладинами для увеличения устойчивости и крепости конструкции с соединительным элементом, к которому можно прикрепить лебедку, благодаря которой можно поднимать породу из скважины. Использовался металл для изготовления вышки сталь 3 мм.

При проектировании самого бура необходимо: 1) определить оптимальную длину штанг и способ их соединения; 2) создать “перо”; 3) удобный способ вращать механизм и бурить породу.

Рассчитав оптимальную длину – 1 м, исходя из среднестатистического роста человека – 170 см; наилучшим способом соединения штанг был резьбовой крепеж без элемента резьбы – “палец”; использовав “палец”

изготовленный из автомобильной запчасти - крепеж ВА3-2101-2107 штанги реактивной (8 мм), в штанге просверливается отверстие 8 мм на расстоянии 7,5 мм от конца штанги которое является местом соединения штанг, так же приваривается упорная шайба в верхней части штанги для того, чтобы можно было при помощи перегородки зафиксировать штангу в забое и снять штанги, которые мешают дальнейшей выемки породы. При создании штанг использовались трубы  $\frac{3}{4}$  дюйма (рис. 1).

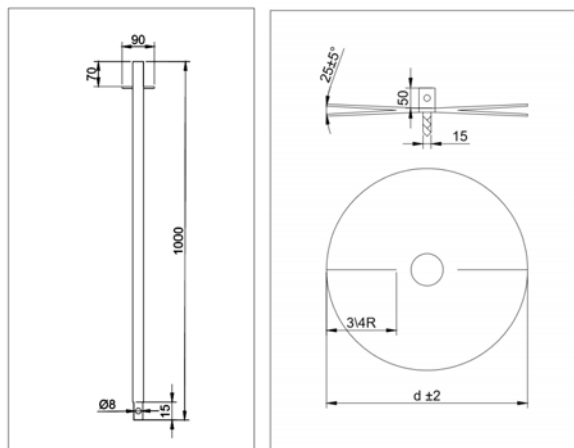


Рис. 1. Конструкция штанги и вид бура

Конструкцию бура – диск, разрезанный с двух сторон на  $\frac{3}{4}$  радиуса и разогнутый на угол примерно равный 20-30° для того, чтобы порода бурилась и собиралась над диском, а для углубления в породу использовали перо - приварив лист металла, закрученный по спиралевидной траектории. Диск вырезается на 2-4 мм меньше, чем труба, что определяет размер забоя.

Механизация установки не предполагалась, был выбран ручной привод – ворот. Длина ворота составляет 1 м. При создании ворота использовались трубы  $\frac{3}{4}$  дюйма.

Поскольку бурение предполагалось минимум на 5 м, нам потребовалось спроектировать вышку и удобный способ подъема породы.

Был выбран вариант вышки по типу “козел”. Нам потребовались водопроводные трубы диаметром 100 мм и 120 мм, материал – сталь 3.

Трубы 100 мм диаметра мы приварили к отрезанному куску трубы 120 мм диаметра под углом 60° и при помощи уголка, вырезанного из стали 3 толщиной 3 мм, увеличили прочность конструкции (рис. 2).

Так же для того, чтобы «ноги» конструкции не шатались, мы увеличили ее прочность, приварив  $\frac{1}{2}$  дюймовые трубы.

Для того чтобы соединить «ноги» и закрепить лебедку нам потребовалась труба 100 мм (1500 мм длина), лист стали (под размер лебедки, где  $t$  – ширина, мм;  $n$  – длина, мм толщиной 4 мм, нарезанная арматура для увеличения прочности (рис. 3).

В листе стали просверливали отверстия, для возможности крепления лебедки.

Затем прихватив лист к трубе по краям приваривали арматуру и проварили шов у самой трубы.

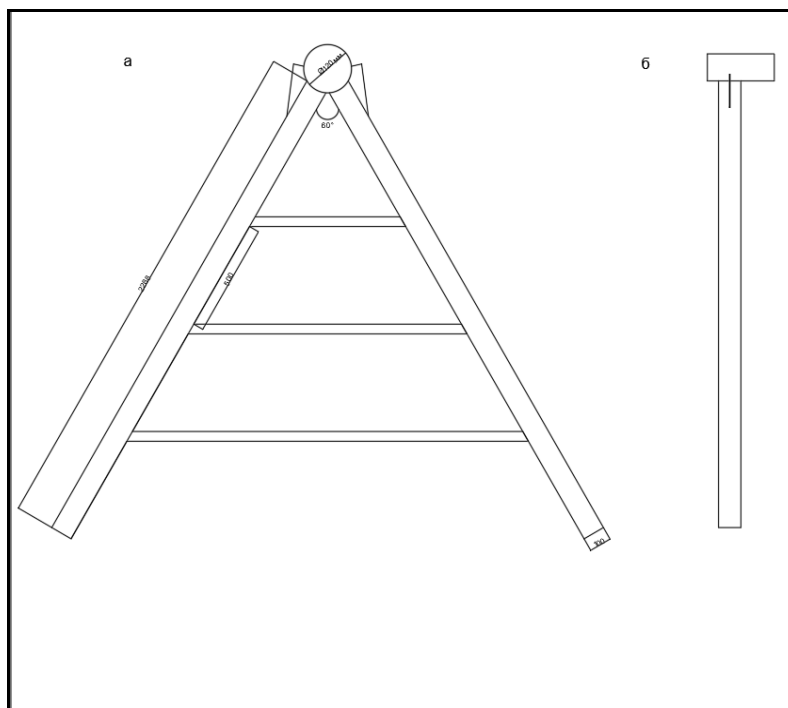


Рис. 2. Вышка буровой установки: а – вид спереди; б – вид справа



Рис. 3. Крепление «ног» вышки: а – вид спереди; б – вид справа; в – вид сверху

Для создания, сборки и использования буровой установки потребовались инструменты: инвертор плазменной резки BlueWeld Prestige Plasma 54 Kompressor 815725, Сварочный инвертор Gigant WM MMA-190, железная линейка, плоскогубцы сварщика тип W FIT 52742, электрическая стационарная лебедка EURO-LIFT DN400A 00018774 (200 кг), металлический тросик, вибрационный насос для колодца СТАВР НПВ-300Н, крепеж ВАЗ-2101-2107 штанги реактивной.

Сборка установки начиналась с бура. Сверло соединялось со штангой, а к штанге крепился ворот. Детали вышки переносились к месту предполагаемого бурения. Труба, к которой крепилась лебедка вставлялась в “ноги”, а после поднималась. После чего, к вышке крепилась лебедка.

Процесс бурения. В начале бурится порода на небольшую глубину и устанавливается труба – диаметр будущей скважины. В дальнейшем, когда глубина скважины достигает 0,5-0,7 м присоединяется удлинитель штанги и используется металлический тросик, продетый через “ухо”, закрепляемый вокруг ворота, а после диска штанги, зацепляется к лебедке для более

быстрого извлечения породы из забоя. После того, как скважина достигла воды вставляется пластиковая канализационная труба диаметром, позволяющим плотно установить её в основу скважины, на конец которой закреплены 2 строительных мешка используемых в качестве фильтра. После чего в скважину опускается шланг, соединённый с водяным насосом.

Преимущества конструкции: 1) простота, надежность, быстрое создание установки; 2) компактность и мобильность; 3) небольшая стоимость материалов для установки; 4) работать за установкой, собрать установку и обслуживать ее может один человек; 5) конструкция может быть модернизирована.

Недостатки конструкции: 1) скорость бурения зависит от плотности породы; 2) установка подходит для бурения в песчаной почве или почве с малым содержанием пород крепостью выше 6.

**Выводы:**

1. Буровая установка подходит для бурения скважин для добычи воды в мягкой почве на глубине от 5 до 12 м.

2. Конструкция проста и надежна.

3. Есть возможность улучшить конструкцию и оптимизировать процесс, исключив человека из процесса.

УДК 622.331

## ЭНЕРГОНЕЗАВИСИМЫЙ КОМПЛЕКС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Зюзин Б.Ф., Жигульская А.И., Яконовская Т.Б., Мурашев А.А.  
Тверской государственный технический университет, Тверь, Россия

*Проблема энергонезависимости мобильных комплексов по добыче и переработке сырья в полевых условиях.*

*Ключевые слова: технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности, экологические перспективы, экономические перспективы, солнечная энергетика, альтернативная энергетика.*

## NON-VOLATILE COMPLEX USING ALTERNATIVE RENEWABLE ENERGY SOURCES

B. Zuzin, A.Zhigulskaaya, T. Yakonovskaya, A. Murashev

*The problem of non-volatility of mobile complexes for the extraction and processing of raw materials in the field*

*Keywords: technological equipment for the mining and oil and gas industries, environmental prospects, economic prospects, solar energy, alternative energy.*

Развитие мирового и отечественного промышленного производства, его современное состояние и перспективы указывают на необходимость нового ресурсосберегающего, экологически и экономически обоснованного метода, и организации промышленности – безотходного (малоотходного) производства, использование альтернативных источников энергии [1].

Последние годы все активнее в России обсуждаются вопросы обеспечения устойчивости развития на основе бережного расходования имеющихся ресурсов, рационального природопользования, экологической безопасности производства и т.д. Наиболее активно исследуются вопросы обеспечения рационального расходования природных ресурсов энергосбережения и поиска новых источников энергии, экологической безопасности производства [1].

Известен способ по производству продукции, тепла и электроэнергии из торфа (патент RU2512210C2, опублик. 10.04.2014 г.). Способ производства продукции, тепла и электроэнергии из торфа включает экскавацию торфа из залежи, его обезвоживание, введение в него композитов, связующих модификаторов и минеральных удобрений, формирование гранул или брикетов с досушиванием, фасовку и пакетирование всей высушенной продукции, направление части торфа для пиролиза для получения тепловой и электрической энергии, отличающийся тем, что торф из залежи экскавируют вместе с древесными включениями, которые далее отделяют от торфа [4]

Известен также энергонезависимый технологический комплекс по производству продукции из торфа (патент RU2529059, опублик. 27.09.2014

г.), работающий следующим образом. Торф любой влажности, степени заторенности, степени механической переработки поступает в приемный бункер, откуда посредством ленточного транспортера поступает на валковый сепаратор, где происходит его сортировка. Горючие отходы со склада отходов поступают в молотковую дробилку, где измельчаются и транспортируются ленточным конвейером на склад биотоплива, и используется в дальнейшем для работы теплогенератора [5].

Еще одно изобретение модульный технологический комплекс добычи торфа и производства окускованного топлива (патент RU2470984C1, опубл. 27.12.2012 г.), работает следующим образом. Для работы комплекса необходимо осушение торфяной залежи до достижения ею несущей способности в соответствии с проходимость применяемых машин и оборудования [6].

Был выполнен патентный поиск на тему мобильные комплексы по добыче и переработке сырья в полевых условиях. Основное внимание было уделено энерго- и теплообеспечению таких комплексов. Так как мобильные комплексы по добыче и переработке сырья в полевых условиях, работают в ситуациях удаленного местоположения от основных тепло и энерго- магистралей, возникает проблема с обеспечением данных комплексов на начальном этапе их работы электроэнергией, теплом и паром. Еще одна проблема заключается в том, что экономически не выгодно поставлять традиционное топливо, которое с каждым годом истощает свои ресурсы, на огромные расстояния. Ни в одном изобретении не предложен вариант решения данной проблемы с экономической и экологической точки зрения на начальном этапе работы.

Решением данной проблемы может стать внедрение в данные комплексы оборудования, генерирующего возобновляемую энергию, в частности энергию солнца. Это сократит расходы на привозное сырье, обеспечит одновременное использование несколько видов топлива, что позволит мобильным комплексам по добыче и переработке сырья в полевых условиях стать полностью энергонезависимыми на всех этапах работы.

В технологический комплекс по производству продукции из ресурсов торфяных месторождений будут включены функционально-взаимосвязанные между собой: модуль подготовки, модуль сушки, модуль формования торфяного сырья, модуль переработки отходов основного производства, модуль бытового назначения и модуль для преобразования солнечной энергии в тепловую энергию и электрическую.

Данные комплексы будут отлично показывать себя в районах, где инсоляция достаточно высокая: Северный Кавказ, Краснодарский край, Юг Сибири, Дальний Восток, Центральные районы и др.

В мобильных комплексах данные модули из гелиосистем будут иметь успех, так как в регионах, где работают данные комплексы, сжигается огромное количество твердого и жидкого топлива для обеспечения производственного и бытового электро и теплоснабжения, как на начальном

этапе (уголь, мазут), так и в дальнейшей работе (древесное, торфодревесное сырье и биогаз). С приходом гелиосистем, можно решить раз и навсегда проблему обеспечения мобильных комплексов теплом и горячей водой на любом этапе производства [2]. Также значительно снизится загрязнение региона и окружающей среды от сжигания твердого и жидкого органического топлива.

### Список литературы

1. Валов М.И., Казанджан Б.И. Системы солнечного теплоснабжения. – М.: Изд-во МЭИ, 1991. – 140 с.
2. Малевского Ю.Н., Колтуна М.М. Солнечная энергетика // М.: Мир, 1979, 220 с. Способ по добыче и переработке торфа и растительно-торфяных сплавин и устройств для реализации этого способа [Электронный ресурс] // Патент, 2020. [https://yandex.ru/patents/doc/RU2599117C1\\_20161010](https://yandex.ru/patents/doc/RU2599117C1_20161010)( дата обращения: 27.02.2020 г.)
3. Способ по производству продукции, тепла и электроэнергии из торфа [Электронный ресурс] // Патент, 2020. [https://yandex.ru/patents/doc/RU2512210C2\\_20140410](https://yandex.ru/patents/doc/RU2512210C2_20140410) (дата обращения: 28.02.2020 г.)
4. Энергонезависимый технологический комплекс по производству продукции из торфа [Электронный ресурс] // Патент, 2020. [https://yandex.ru/patents/doc/RU2529059C1\\_20140927](https://yandex.ru/patents/doc/RU2529059C1_20140927) (дата обращения: 01.02.2020 г.)
5. Модульный технологический комплекс добычи торфа и производства окускованного топлива [Электронный ресурс] // Патент, 2020. [https://yandex.ru/patents/doc/RU2470984C1\\_20121227](https://yandex.ru/patents/doc/RU2470984C1_20121227) (дата обращения: 01.02.2020 г.)



УДК 622.879

## НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭКСКАВАТОРОВ

**Комиссаров А.П.**, проф., **Попов А.Г.**, доцент, **Хорошавин С.А.**, доцент,  
**Бахарева В.И.**, ассистент  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург

*В работе рассмотрены технические решения рабочего оборудования одноковшовых экскаваторов, защищенные патентами РФ. Показаны достигаемые технические результаты и технико-экономический эффект при реализации разработок.*

***Ключевые слова:** одноковшовые экскаваторы; рабочее оборудование; инновационные технические решения.*

## DIRECTIONS OF IMPROVEMENT OF DESIGNS OF WORKING EQUIPMENT OF EXCAVATORS

**Komissarov A.P., Popov A.G., Khoroshavin S.A., Bakhareva V.I.**

*The paper discusses the technical solutions of working equipment for shovel excavators, protected by patents of the Russian Federation. The achieved technical results and the technical and economic effect during the development are shown.*

***Keywords:** single-bucket excavators; working equipment; innovative technical solutions.*

В современных условиях конкурентного развития экономики особое значение приобретает проблема повышения технического уровня горных машин и создания высокопроизводительного и ресурсосберегающего рабочего оборудования. Решение этой проблемы основывается на выполнении научно-исследовательских работ как по теории машин и механизмов, так и связанных с изучением рабочих процессов технологических машин.

В статье рассмотрены инновационные технические решения по рабочему оборудованию (РО) одноковшовых экскаваторов, а именно:

- РО с внутренним замыканием (в пределах рабочего органа) внешних нагрузок;

- рыхлительно-экскавационное оборудование;

- рычажное РО (прямая лопата).

### **РО с внутренним замыканием внешних нагрузок**

В результате анализа кинематических и динамических параметров рабочих процессов экскаваторов с различными рабочими органами (ковш и грейфер) выявлены различия в способах восприятия и передачи внешних нагрузок на экскаватор.

Так, в экскаваторах с рабочим оборудованием прямая и обратная лопаты внешние нагрузки (сила сопротивления грунта экскавации и силы тяжести элементов рабочего оборудования) передаются через рабочее оборудование на экскаватор и создают момент опрокидывающих сил относительно оси, проходящей по краю опорных катков гусеничного ходового устройства. В результате увеличивается как масса элементов рабочего оборудования, так и масса экскаватора.

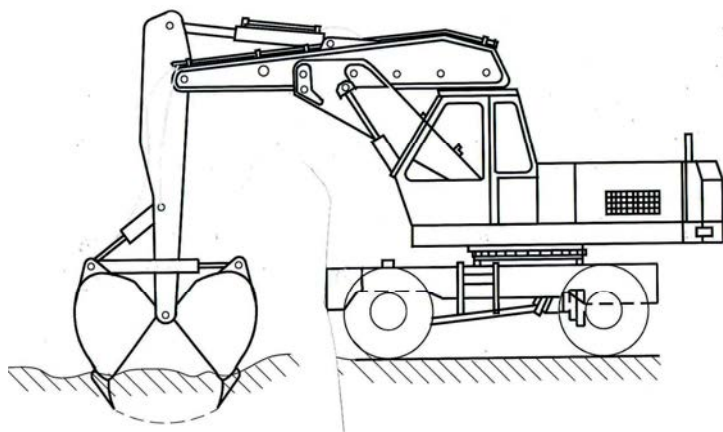


Рис. 1. Схема рабочего оборудования экскаватора с силовым замыканием рабочих нагрузок в пределах рабочего органа (патент № 92033).

Разработано техническое решение РО экскаватора [1] в котором реализуется принцип рациональности силовой схемы при внутреннем (в пределах рабочего органа) силовом замыкании внешних нагрузок (ВСЗ)- рис.1.

За счет внутреннего замыкания рабочих нагрузок уменьшается опрокидывающий момент, действующий на экскаватор, и устойчивость машины обеспечивается при меньшей массе экскаватора.

Кроме того, при постоянстве массы экскаваторов с различными видами РО за счет повышения устойчивости машины могут быть увеличены размеры рабочей зоны экскаватора, оборудованного РО с ВСЗ [2, 3, 4].

Таким образом, реализация принципа внутреннего силового замыкания в конструкциях рабочего оборудования обеспечивает существенный рост параметров машин и, в целом, технического уровня экскаваторов.

Таким образом, реализация принципа внутреннего силового замыкания в конструкциях рабочего оборудования обеспечивает существенный рост параметров машин и, в целом, технического уровня экскаваторов.

### Рыхлительно-экскавационное оборудование

Разработана конструктивная схема рыхлительно-экскавационного оборудования экскаватора, включающая рабочий орган, выполненный в виде оппозитно расположенных ковша и зубьев, соединенных с ковшом посредством замыкающего устройства в виде гидроцилиндров, рукоять, стрелу и гидроцилиндры поворота ковша, гидроцилиндры поворота рукояти и гидроцилиндры поворота стрелы (рис. 2).

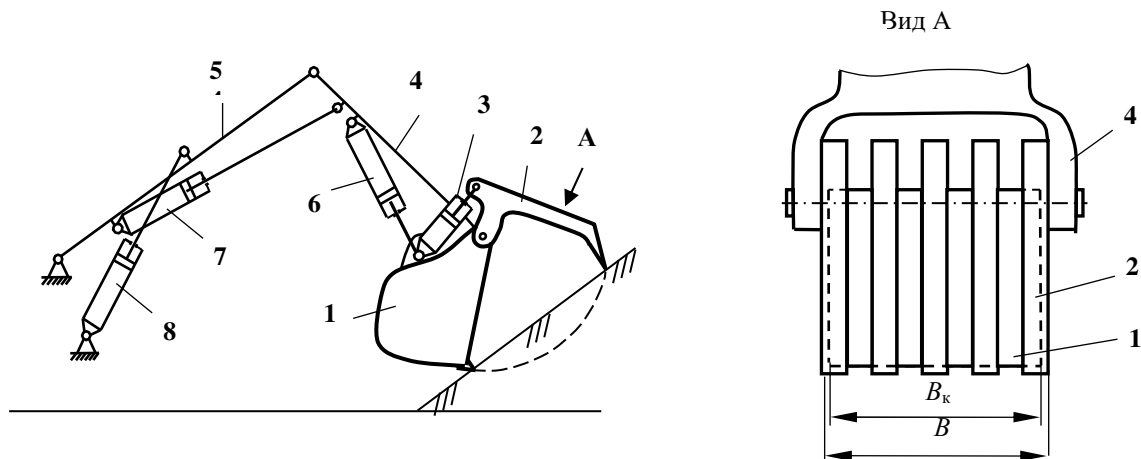


Рис. 2. Рыхлительно-экскавационное оборудование

Рабочее оборудование экскаватора функционирует следующим образом. Предварительно перед началом рыхления породы ковш под действием гидроцилиндра поворота ковша опирается режущей кромкой на породу. Разработка породы начинается с ее рыхления при последовательной работе зубьев при действии гидроцилиндров замыкающего устройства. Ввиду замыкания внешних нагрузок на рабочем органе сила на отдельном зубе возрастает и соответствует нагрузке, разрушающей породу повышенной прочности. По завершении рыхления породы производится экскавация разрыхленной горной массы ковшом.

Таким образом, рыхлительно-экскавационный агрегат обеспечивает значительное увеличение внешних нагрузок, замыкающихся в пределах рабочего органа, что позволит расширить область применения экскаватора за счет возможности разработки пород повышенной прочности, в том числе мерзлых грунтов.

Внедрение рыхлительно-экскавационных агрегатов позволит за счет совмещения в одном оборудовании (экскаваторе) операций рыхления и экскавации горных пород повысить эффективность работы горных предприятий.

Кроме того, ввиду исключения буровзрывных работ снижаются затраты на разработку пород повышенной прочности и улучшается экологическая обстановка в горнодобывающем районе.

#### **Рычажное рабочее оборудование (прямая лопата)**

В Уральском государственном горном университете разработан новый тип рабочего оборудования карьерного экскаватора [5]. Новое рабочее оборудование включает рукоять с ковшом и несущую балку, установленные в седловом подшипнике, причем последняя соединена с ковшом посредством рамы и тяги (рис. 3).

Седловые подшипники и главные механизмы (напорный механизм и механизм перемещения несущей балки) размещены на поворотной платформе.

Особенностью такого рычажного рабочего оборудования является использование в качестве подъемного механизма рычажной системы в виде несущей балки, рамы и тяги. Применение рычажной системы позволит увеличить размеры рабочей зоны экскаватора за счет изменения размеров рычагов, а также обеспечить устойчивость рабочего уступа ввиду исключения козырька в верхней части уступа.

Кроме того, ввиду установки главных механизмов на поворотной платформе уравновешенность платформы обеспечивается без использования противовеса.

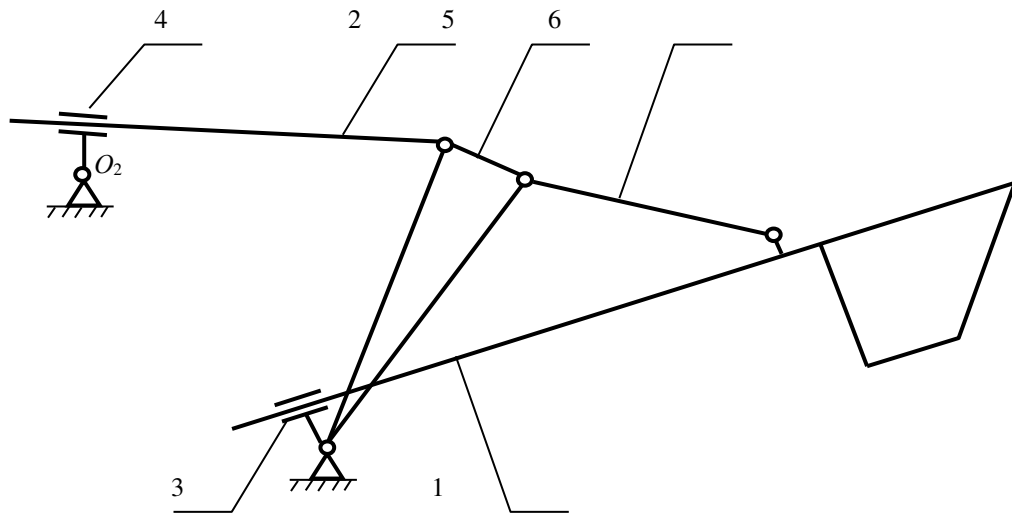


Рис. 3. Схема рычажного РО:

1 – рукоять, жестко соединенная с ковшом; 2 – несущая балка;  
3, 4 - седловый подшипник; 5 – рама; 6 - тяга

### Список литературы

1. *Рабочее оборудование экскаватора*. Патент на полезную модель № 92033 МПК Е 02F 3/42; опубл. 10.03.10. Бюл. № 7.
2. *Комиссаров А. П., Саитов В. И., Суслов Н. М.* Повышение технического уровня выемочно-погрузочного оборудования // Известия вузов. Горный журнал. 1992. № 7. С. 91 – 95.
3. *Иванов И. Ю., Комиссаров А. П., Лагунова Ю. А., Шестаков В. С. и др.* Интенсификация процессов экскавации горных пород // Известия вузов. Горный журнал. 2015. № 3. С. 94 – 100.
4. *Подэрни Р. Ю.* Сравнительный анализ гидравлических и механических экскаваторов с прямой лопатой / Р. Ю. Подэрни, П. Булес // Горный журнал. 2015. № 1. С. 55 – 61.
5. *Экскаватор «Горный»*. Патент на полезную модель № 178976 МПК Е 02F 3/00; опубл. 24.04.18. Бюл. № 12.

УДК 622.331

## ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕМЕНТОВ КОВША ПОГРУЗЧИКА ДЛЯ СБОРКИ ДРЕВЕСНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ ИЗ ТОРФЯНОГО РАССТИЛА

Корнильев Е.О., Жигульская А.И.

Тверской государственной технической университет, г. Тверь, Россия

*Выполнен анализ данных, полученных при проведении лабораторных и полевых экспериментов по сбору древесных включений из торфяного расстила.*

*Ключевые слова:* Древесные включения, торфяной расстил, экскаваторный способ добычи торфа, ковши фронтального погрузчика.

## GEOMETRICAL PARAMETERS OF LOADER BUCKET ELEMENTS FOR ASSEMBLING WOOD INCLUSIONS FROM PEAT SPREAD

E. Kornilev, A. Zhigulskaya

*The analysis of the data obtained during laboratory and field experiments on the collection of wood inclusions from peat spread.*

*Keywords:* wood inclusions, peat spreading, excavation method for peat extraction, front loader bucket.

Предлагаемая технология добычи торфа экскаваторным способом состоит из следующих технологических операций: операция экскавация торфяной залежи; транспортирование торфяной массы на подготовленную площадь; формирование расстила для первичного обезвоживания; штабелирование; транспортирование торфяного сырья; обогащение торфяного сырья, направленное на снижение засоренности [1].

Древесные включения, попадающие в торфяном сырье в процессе экскавации торфяной залежи, удаляются непосредственно на стационарных очистительных системах.

Применение быстросъемного просеивающего ковша, установленного на фронтальный погрузчик [2], позволит отказаться от стационарных просеивающих систем, снизить количество операций и уменьшить себестоимость готовой продукции [4].

Предполагается использовать быстросъемный просеивающий ковш для удаления древесных включений из расстила торфяного сырья и транспортирования для дальнейшей переработки.

Разработанная методика проведения лабораторно-полевого эксперимента позволяет определить параметры просеивающего ковша.

Первоначальной задачей для определения параметров сепарирующего ковша является определение размерных характеристик древесных включений, попадающих в расстил.

По данным Ларгина И.Ф. в торфяниках низинного типа преобладают лиственные породы деревьев, а на переходных и верховых торфяниках преобладают хвойные породы, выраженные сосной. Степень сохранности пней различна – так пни хвойных пород деревьев почти полностью сохра-

няются в торфе. Пни листовых пород более подвержены разрушению, сохраняя меньший размах корневой системы [3]. Количество и размер пней также зависит от показателя средней пнистости торфяной залежи в зависимости от их строения.

Таблица 1. Распределение пней в торфяных залежах верхового типа

Вид строения залежи (глубина слоев)	Пнистость залежи (слоя)	Число ярусов, шт.	Число пней в ярусе, тыс. шт.	Диаметр пней, см
Магеланикум ( $H < 4$ м): первый слой (0,3-0,8 м); второй слой (1,0-1,7 м); третий слой (пограничный горизонт)	1,5-5,0 1,0-4,0 1,0-5,0 2,0-10,0	- 2-3 2-3 3-4	- 1-7 1-7 1-6	- 3-20 4-22 6-30
Комплексный ( $H < 5$ м): первый слой (0,6-1,3 м); второй слой (1,6-2,5 м); третий слой (пограничный горизонт)	0,6-3,0 0,7-3,5 0,8-4,0 1,0-5,0	- 1-2 1-2 2-3	- 1-4 1-5 2-6	- 3-16 3-20 4-22
Комплексный ( $H = 7-8$ м): первый слой (1,0-1,7 м); второй слой (2,5-3,5 м); третий слой (4,4-4,5 м)	1,0-1,5 0,5-3,0 0,8-3,5 0,8-4,5	- 1-2 1-2 2-3	- <4 1-4 2-3	- 3-14 3-16 4-20

Таблица 2. Изменение пнистости по слоям

Бонитет	Число пней на 1 га при возрасте									
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
IV	4040	4060	6480	7050	7430	7680	7870	8010	2110	8180
V	7350	9120	10460	11180	11730	12120	12420	12690	12790	12900
V <sub>a1</sub>	-	4500	7600	9400	10670	14480	12070	12550	12820	13030
V <sub>a2</sub>	-	18698	27396	31944	39699	36479	37506	38259	38400	39427

Вследствие представленных данных размер древесных включений зависит также от глубины экскавации торфяной залежи. Древесные включения, соразмеряемые с размерами ковша экскаватора, не попадают в расстил, а остаются в карьере, поэтому их не учитывают при проведении лабораторного и полевого испытаний. Также древесные включения при экскавации разрушаются под действием ковша экскаватора [5-6].

Проведенный эксперимент позволяет определить зависимость между количеством подобранных древесных включений и геометрическими размерами сепарирующего ковша в частности расстояние между зубьями и определить размеры отверстий днища, позволяющими удерживать древесные включения, а торфяное сырье беспрепятственно должно высыпаться и оставаться в расстиле. Эксперимент проводился с изменением интервала между зубьями  $L$  лабораторной установки и глубиной врезания зубьев в расстил  $H$ , схема представлена на рисунке 1. По полученным в ходе экспе-

римента данным был составлен график зависимости интервала между зубьями установки и глубиной врезания в расстил.

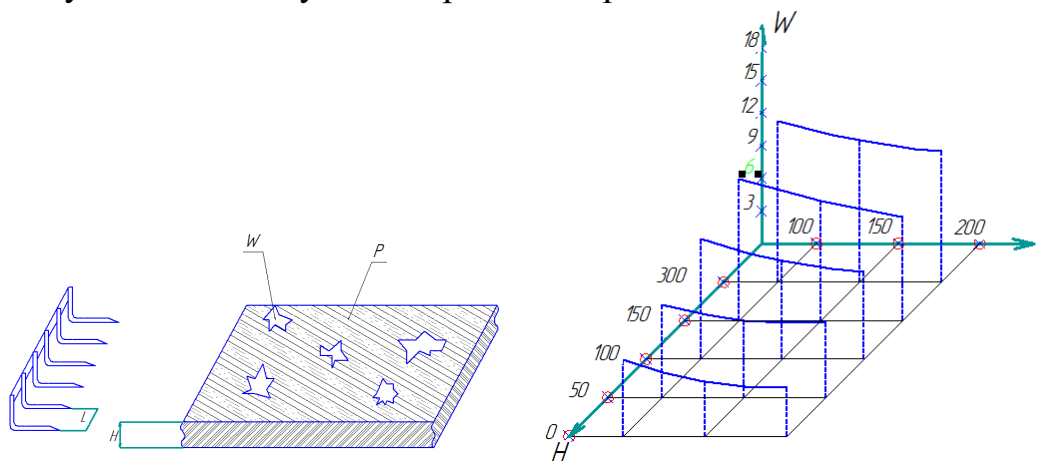


Рис. 1 Схема лабораторной установки и полученная зависимость  $L$  и  $H$ :  
 $L$  - интервал между зубьями;  $H$  - глубина врезания зубьев;  
 $W$  - древесные включения;  $P$  - расстил торфяного сырья.

По графику видна зависимость между интервалом зубьев подборщика, количеством собранных древесных включений и глубиной погружения вил. Так по мере увеличения расстояния между вилами подборщика количество собранных древесных включений снижается, так как происходит частичное их высыпание между зубьев подборщика. Снижение количества собранных включений от глубины врезания ножей в расстил вызвано неоднородным залеганием древесных включений.

### Список литературы

1. Михайлов А.В., Кремчеев Э.А., Большунов А.В., Нагорнов Д.О. Перспективы развития новых технологий добычи торфа. Журнал: Горный информационно-аналитический бюллетень. 2010 С. 189-194.
2. Корнильев Е.О., Жигульская А.И., Михайлов А.В. Навесное модульное оборудование для первичной обработки торфяного сырья. В сборнике: Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики. Материалы конференции. Тульский государственный университет; Под редакцией Р.А. Ковалева. 2017. С. 173-176.
3. Ларгин И.Ф. Торфяные месторождения и их разведка. – М: Недра, 1977. – 262 с.
4. Жигульская А.И. Модернизация технологических схем и оборудования для переработки торфа и древесных включений /А.И. Жигульская //Перспективы развития горно-транспортных машин и оборудования: сборник статей. Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня. М.: Издательство «Горная книга» (Горный инженер). 2009. №10.С. 175-178.
5. Жигульская А.И. Технологическая схема переработки древесных отходов добычи торфяного сырья /А.И. Жигульская //Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: МГГУ, 2012. №2. С.188 – 196.
6. Aleksandr Mikhailov, Dmitriy Nagornov. Peat excavation and drying for factory-made local fuel production. Book of Abstracts of the 14th International Peat Congress Peatlands in Balance Stockholm, Sweden June 3-8, 2012. P. 447

УДК 62-82:669.013.5

## ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРОКЛАПАНОВ 2/2

**Пестряков А.Н.**, магистрант, **Кольга А.Д.** д.т.н., **Филатов А.М.** к.т.н.  
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова  
(МГТУ им. Носова), г. Магнитогорск, Россия,

*Проанализирована направляющая и регулирующая гидроаппаратура используемая в гидроприводе с точки зрения эффективности работы и массогабаритных параметров. Установлено, что габариты и вес существующей гидроаппаратуры не позволяют ее использовать в малогабаритных устройствах. Замена существующих гидрораспределителей гидроклапанами 2/2, позволит значительно снизить габариты, упростить систему управления гидроприводом и повысить ее надежность.*

**Ключевые слова:** Гидрораспределитель, гидропривод, дроссель, гидроклапан, золотник, золотник.

### OPPORTUNITIES FOR USING 2/2 HYDRAULIC VALVES

**Pestryakov A.N., Kolga A.D., Filatov A.M.**

*The guide and control hydraulic equipment used in the hydraulic drive is analyzed from the point of view of work efficiency and weight and size parameters. It was established that the dimensions and weight of the existing hydraulic equipment do not allow it to be used in small-sized devices. Replacing existing valves with 2/2 hydraulic valves will significantly reduce the size, simplify the hydraulic drive control system and increase its reliability.*

**Keywords:** Hydroallocator, hydraulic actuator, throttle valve, hydraulic valve, spool, spool.

Одним из достоинств гидропривода является его высокая энергоемкость, что позволяет его применять в различных отраслях промышленности, начиная от бытовых приборов и заканчивая тяжелым машиностроением. Но, в последнее время в средних и малых мощностях с объемным гидроприводом стал конкурировать электропривод [1, 2, 3]. Например, разработчики антропоморфных робототехнических комплексов полностью отказались от гидропривода, и перешли на электропривод. Основная причина: относительно небольшие габариты элементов управления и превосходство в управляемости и точности регулирования.

Поэтому, для восстановления прежних позиций гидропривода, необходим поиск новых конструктивных решений элементов управления, технологий регулирования и управления объемным гидроприводом.

В машиностроении в качестве направляющей гидроаппаратуры в основном применяются гидрораспределители клапанного, золотникового или кранового типов [4, 5, 6]. Габариты и масса распределителей зависят от типоразмера, количества линий подключения и числа позиций переключения.

Обозначение распределителей соответствует числу полезных подключений и числу переключений по положению.

Клапан с двумя полезными подключениями и двумя переключениями по положению называется 2/2 ходовой клапан.

Клапан с 4 полезными подключениями и 3 переключениями по положению сокращенно именуется 4/3 распределитель.



Естественно, что наиболее простым и компактным будет распределитель типа 2/2

2х-линейные клапаны сегодня прочно утвердились в основном только для контроля давления смазки на концах магистральных трубопроводов и подачи импульса для переключения распределителя с электрическим управлением в централизованных системах смазки концевое типа.

С точки зрения рабочего органа речь идет о 2х линейном, 2х позиционном клапане, т.е. о клапане с двумя рабочими подключениями и двумя положениями – «открыто» или «закрыто», предназначенном для установки в блоке управления[7, 8, 9].

Благодаря соответствующему исполнению схемы управления и соединения 2-линейных клапанов может изменяться направление, расход, а также давление потока жидкости.

Таким образом, этот элемент может взять на себя выполнение функций соединения, изменения расхода или давления. Это наглядно показывает широкий спектр возможностей использования данного вида клапанов.

В качестве примера можно рассмотреть, типовую схему управления гидроцилиндром при помощи 4/3 золотникового распределителя с ручным управлением, рис. 1.

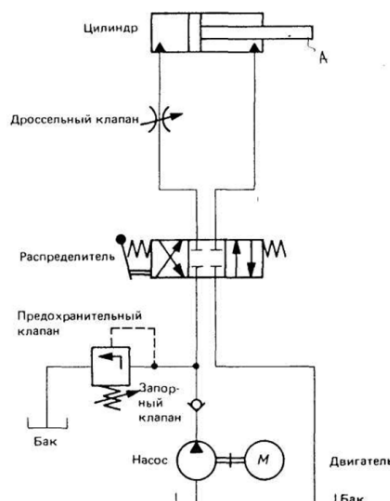


Рис. 1 Схема управления гидроцилиндром при помощи 4/3 золотникового распределителя с ручным управлением

Вариант использования гидрораспределителей 2/2 показан на рис. 2.

Как видим, представленная схема значительно проще схемы, показанной на рис.1. В ней отсутствуют такие элементы как: обратный клапан; предохранительный клапан; дроссель и, конечно же, гидрораспределитель 4/3. Функции всех этих элементов выполняют пять распределителей 2/2.

Рассмотрим, как она работает. В исходном положении, все четыре линии перекрыты и соответственно клапаны 2, 3, 4, 5 закрыты. Клапан 1 открыт и жидкость подаваемая насосом сливается в бак. При открытых клапанах 2 и 5 и закрытых клапанах 1, 3, 4 жидкость от насоса через клапан 2 поступает в поршневую полость гидроцилиндра, и поршень цилиндра перемещается влево, вытесняя жидкость из штоковой полости через откры-

тый клапан 5 в бак. Такое включение клапанов будет соответствовать включению распределителя 4/3 на рис. 1 в правое положение. При открытии клапанов 3 и 4 и закрытии всех остальных клапанов жидкость от насоса через клапан 4 поступает в штоковую полость гидроцилиндра и перемещает поршень влево, вытесняя жидкость из поршневой полости через открытый клапан 2 в бак. Такое включение клапанов будет соответствовать включению распределителя 4/3 на рис. 2 в левое положение.

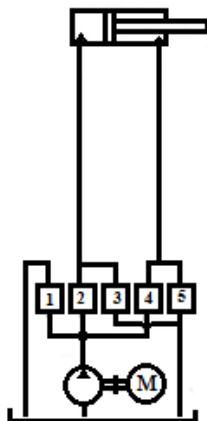


Рис. 2 Схема управления гидроцилиндром при помощи пяти 2/2 распределителей

Клапан 1 связан с реле давления и играет роль предохранительного клапана, он открывается при достижении определенного давления.

Регулирование скорости движения поршня гидроцилиндра осуществляется величиной открытия клапана.

Следует отметить, что в отличие от используемого на схеме рис. 1 распределителя 4/3, в исходном положении которого все четыре линии закрыты, использование клапанов 2/2 позволяет большее число вариантов соединения. Например, в исходном положении поршневая и штоковая полости могут быть соединены между собой или со сливной магистралью. Напорная магистраль также может быть соединена со сливной магистралью.

Необходимо также отметить тот факт, что использование конструктивно простых и взаимозаменяемых клапанов повышает надежность работы всей системы.

Однако в качестве основного недостатка, не позволяющего такие клапаны использовать в качестве элемента управления в малогабаритных системах, является то, что система управления этими клапанами возможна только с использованием пилотных золотниковых распределителей.

Для использования всех достоинств 2-линейных клапанов необходимо упростить управление клапанами путем применения механического, электромагнитного или других, компактных систем управления.

### Список литературы

1. Ащеулов А. В. Экспансия электропривода на объемный гидропривод/HPD/ № 3/14 2014г.

2. Титаренко В. Б. Повышение энергоэффективности объемных гидроприводов // Молодой ученый. — 2017. — №51. — С. 97-99. — URL <https://moluch.ru/archive/185/47487/> (дата обращения: 13.12.2019).
3. Схиртладзе, А. Г. Гидравлические и пневматические системы / А. Г. Схиртладзе, В. И. Иванов, В. Н. Кареев. – М. : ИЦ МГТУ «Станкин», «Янус-К», 2003. – 544 с.
4. Жданов, А. В. Теоретические исследования рабочих процессов, протекающих в распределителях гидравлических рулевых механизмов / А. В. Жданов, Ю. Е. Меркушева // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии. – 2013. – Вып. 1 (117). – С. 88–91.
5. Галдин, Н. С. Элементы объемных гидроприводов мобильных машин. Справочные материалы : учеб. пособие / Н. С. Галдин. – Омск : Изд-во СибАДИ, 2005. – 127 с.
6. Кольга А.Д. Привод тормозной системы автомобиля. Возможности повышения эффективности. // Автомобильная промышленность.-2002, № 6.- С. 12-14
7. Лепешкин, А. В. Гидравлика и гидропневмопривод : учеб. В. 2 ч. Ч. 2. Гидравлические машины и гидропневмопривод / А. В. Лепешкин, А. А. Михайлин, А. А. Шейпак. – М. : МГИУ, 2003. – 352 с.
8. Точилкин В.В., Филатов А.М., Чиченев Н.А., Исследование работы и характеристик элементов гидроавтоматики металлургических машин. учебное пособие. Магнитогорск, 2014.
9. Точилкин В.В., Филатов А.М., Задорожный В.Д. и др. Основы функционирования гидравлических систем металлургического оборудования: учебное пособие. Магнитогорск, 2009.

УДК 622.232.75

## СТРУГ ИЛИ КОМБАЙН – АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ДОБЫЧЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Туктамышева Р.И.<sup>1</sup>, магистрант, Банников И.В.<sup>2</sup>, магистрант,  
Брисницын И.С., Ким В.Р.<sup>3</sup> - студенты

<sup>1</sup> Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, Р. Казахстан

<sup>2</sup> Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

<sup>3</sup> Карагандинский высший политехнический колледж, г. Караганда, Р. Казахстан

*Рассмотрены перспективы применения струговой установки или очистного комбайна в угольной промышленности. При эксплуатации стругов обеспечивается полная механизация основных производственных процессов выемки и навалки угля в лаве с высокими технико-экономическими показателями, улучшаются условия труда шахтеров, и повышается безопасность ведения работ.*

**Ключевые слова:** струговая установка, шахта, добыча угля, очистной комбайн.

## CHIEF OR COMBINE-AUTOMATED TECHNOLOGIES IN MINING USEFUL FOSSILS.

**Tuktamysheva R.I., Bannikov I.V., Brisnitsyn I.S., Kim V.R.**

*The prospects of using a plow plant or shearer in the coal industry are considered. During the operation of the plows, the full mechanization of the main production processes for the extraction and bulking of coal in the lava with high technical and economic indicators is ensured, the working conditions of the miners are improved, and the safety of work is improved.*

**Keywords:** plow installation, mine, coal mining, shearer.

Широко и эффективно струговая выемка угля применяется на шахтах Казахстана в Карагандинской области, благодаря наличию сравнительно благоприятных горно-геологических условий эксплуатации на пластах малой и средней мощности. А именно, благодаря устойчивой кровли, прочной почвы, небольших углов наклона пластов, спокойной гипсометрии, малой нарушенности пластов, невысокой сопротивляемости угля резанию и отсутствию крепких прослоек породы.

Наивысший уровень применения струговой выемки был достигнут к началу 1970-х гг., когда более 70 % от общего объема добычи угля было получено из струговых лав.

К началу 1980-х гг. наблюдалось активное сокращение добычи угля стругами из-за внедрения двухшнековых узкозахватных комбайнов на пластах средней мощности. Однако с увеличением объемов добычи угля из пластов мощностью менее 1,8 м с 36 % в 1980 г. до 48 % в 1991 г. темпы сокращения добычи угля из струговых лав замедлились.

Однако основные преимущества струговой установки по сравнению с комбайнами – это возможность эффективной механизации выемки тонких пластов, простота конструкции и улучшение качества добываемого угля, что является особенно важным при добыче антрацитов, отсутствие подвода электроэнергии по гибкому кабелю к движущейся машине; более без-

опасные условия для отработки пластов, опасных по газу и пыли, и особенно — по внезапным выбросам угля и газа.

Несмотря на ряд преимуществ добычи стругами по сравнению с другими видами очистной выемки, эффективная работа струговой установки ограничивается пластами с углями, имеющими сопротивляемость резанию 0,15-0,18 МПа, в то время как около 70 % шахтопластов Карагандинские имеют сопротивляемость резанию 0,18-0,36 МПа. Кроме того, до последнего времени струговые установки эксплуатировались в основном с индивидуальной крепью.

Главный недостаток струговых установок — это проблема крепления забоя, которая сложно решается при выемке угля стружками величиной 0,05-0,08 м при передвижении секций крепи на 0,6-0,8 м даже в условиях устойчивых непосредственных кровель, что является одной из основных причин более низкого коэффициента машинного времени (КМВ) по сравнению с комбайнами.

Попытки расширения области применения струговых установок в условиях с крепким углем, слабыми почвами, ложными и неустойчивыми непосредственными кровлями, с беспокойной гипсометрией пласта привели к значительному усложнению конструкции всего комплекса и его системы управления с повышением мощности приводов струга с 2×150 кВт до 2×400 кВт, а в последнее время — до 2×800 кВт с применением частотно-регулируемых двигателей.

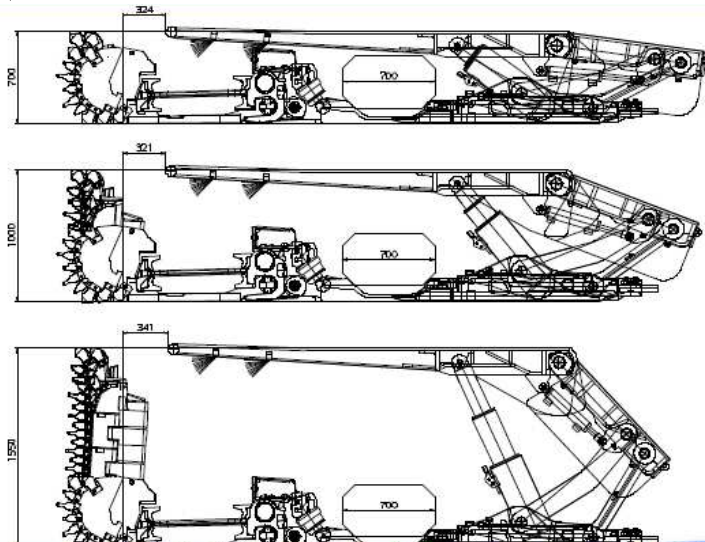


Рис.1 Варианты вынимаемой мощности струга

Последняя разработка — установка GN42 с мощностью привода 2×800 кВт, со специальной тяговой цепью калибра 42мм, с конвейером PF4/1132 со сменными верхними рештками, с расчетной суточной производительностью 7400-9900 т, при скорости движения струга до 3,6 м/с, для торможения которого применен частотно-регулируемый двигатель.

Установки снабжаются датчиками «уголь-порода», малогабаритными радиопередатчиками, системами регулирования величины стружки, плавного регулирования высоты струга и могут работать в автоматическом ре-

жиме. Секции крепи при работе в условиях слабоустойчивой кровли снабжаются выдвижными верхняками для крепления после снятия каждой стружки угля.

Выбор рациональной схемы установки секции крепи в лаве и последовательность их передвижки остаются сложной проблемой. Испытание установки с автоматической системой управления в условиях слабых почв и наличия ложной кровли выявили необходимость доработки датчика «уголь-порода».

Первая струговая установка GN42 была испытана в 2001г на шахте «Казахстанская» совместно с перегружателем PF4/1300 и крепью ДБТ в лаве длиной 400м с вынимаемой мощностью пласта более 1,4м при средней крепости угля (рис.2).



Рис.2 Струговая установка на шахте «Казахстанская».

Среднесуточное подвигание лавы составило 7,39 м при нагрузке на забой 6,17 тыс. т по товару и 11,7тыс. т по рядовому углю и интенсивности нагрузки на забой 21 т/сут·м<sup>2</sup> при КМВ, равном 0,33.

При благоприятных условиях эксплуатации и КМВ, равном 0,65, установка может обеспечить нагрузку 20-35тыс. т/сут. по рядовому углю.

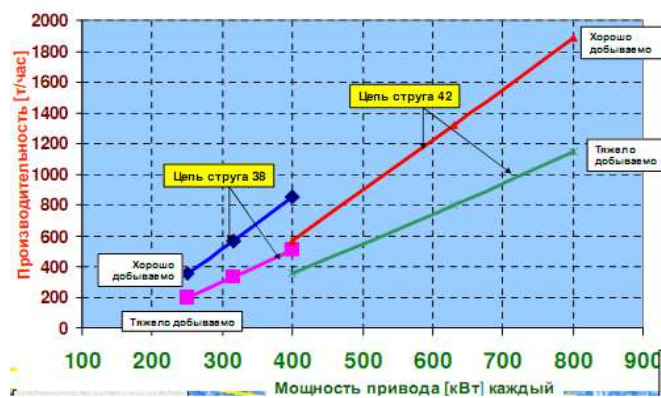


Рис.3 Производительность струговых установок в зависимости от установленной мощности.

Необходимо отметить, что при высокой скорости движения струга для эффективной работы комплекса лава должна иметь значительную длину для сокращения весомости времени разгона и торможения струга при выемке каждой стружки. С учетом этих операций в лаве длиной 400 м струг снимает одну стружку в течение 3 минут.

Энергоемкость выемки при испытаниях составляла 0,72 кВт·ч/т, а проектная — от 0,5 кВт·ч/т до 0,83 кВт·ч/т, т.е. расчеты показали, что при работе в сложных условиях эксплуатации даже наиболее современный мощный струговый комплекс обеспечивает выемку угля с энергозатратами, более высокими, чем при комбайновой выемке.

Горно-геологические условия маломощных пластов шахт Казахстана благоприятны для применения струговой выемки. (рис 3)

Однако почти 20 лет данные о работе струговых лав отсутствуют, а комбайновые на пластах мощностью 1,67-1,82 м обеспечивают устойчивую нагрузку на забой до 19-22 тыс. т/сут. при энергоемкости выемки 0,38-0,45 кВт·ч/т.

Анализ всех процессов выемки пласта подтверждает, что практически все немеханизированные затраты труда в лаве связаны с волновой передвижкой конвейера и переход на фронтальную передвижку — применение цельно передвижного конвейера, позволяет обеспечить полную механизацию очистных работ и создать условия для дистанционного из штрека и автоматизированного управления комплексом — это главный фактор снижения занятости на подземных работах и повышения безопасности труда. [2].

Применение на шахтах Казахстана двухкомбайновой выемки, например на базе одношнековых комбайнов типа МВ (Чехия) и фронтально передвигаемых конвейеров, обеспечит в усложненных условиях эксплуатации на пластах мощностью 1,0-1,6 м до 6-8 тыс. т/сут., а на пластах мощностью 1,6-2,3 м — до 10-12 тыс. т/сут. Из анализа результатов выемки угля на маломощных пластах установлено следующее:

— низкая энергоемкость струговой выемки на уровне 0,2-0,25 кВт·ч/т обеспечивалась на шахтах РК только в благоприятных горно-геологических условиях эксплуатации;

— в усложненных условиях эксплуатации результаты работы современных струговых комплексов по нагрузке на забой были на уровне комбайновых, а по энергоемкости более высокие — на уровне 0,7-0,8 кВт·ч;

— шахты РК имеют в большинстве случаев усложненные условия эксплуатации; учитывая ограниченные условия применения целесообразно в РК использовать импортные установки с приводами 200-400 кВт, положительно зарекомендовавших себя в США; механизированная крепь — целесообразна отечественная, с обеспечением надежного крепления лавы; [2]

— комбайновая выемка в США обеспечивает устойчивые нагрузки на забой в среднем 13-15 тыс. т/сут. при энергоемкости 0,38-0,45 кВт·ч/т, т.е. до 2 раз ниже, чем струговая;

— однокомбайновая выемка в РК обеспечивается при энергоемкости 0,55-0,65 кВт·ч/т, а двухкомбайновая выемка позволит снизить энергоемкость выемки до 0,4-0,45 кВт·ч/т, т. е. в 1,5-1,8 раза ниже энергоемкости при струговой выемке.

**Выводы:**

1. В усложненных условиях эксплуатации на шахтах РК предпочтительна двухкомбайновая выемка пологих пластов мощностью 1,0-2,3 м.

2. Струговая выемка может иметь место при надежном креплении лавы, которое позволит значительно снизить энергозатраты и обеспечить эффективность и безопасность стругового комплекса.

### **Список литературы**

1. Очистные комбайны:[справочник]/ В.И. Морозов, В.И. Чуденков, Сурина; под. общ. ред. В.И. Морозова. - М.: МГГУ, 2006 - 650 с.
2. Титов И.В., Мышляев Б.К - журнал Уголь, .2011 г
3. Пашедаг У, Автоматизированная техника выемки угля, в том числе в сложных горно-геологических условиях\|. – Глюкауф, 2011. - 14-19 с
4. Справочник: Механика угольной шахты. – М; Недра, 1985. - 892 с
5. Фосс Х-В, Юнкер М., Битер М. Первый практический опыт применения струговой установки с повышенной мощностью привода на пластах твердого угля\| Глюкауф ,2004. – 6-15 с.



УДК 622.28

## АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОТОЛКОУСТУПНОГО ЗАБОЯ

к.т.н. Абдугалиева Г.Б., к.т.н. Бузауова Т.М., Окимбаева А.Е., Рахимова А.Б.  
 Карагандинский технический государственный университет, г.Караганда, Республика  
 Казахстан

*В настоящее время опыт разработки мощных пластов потолкоуступных забоем незначителен, поэтому закономерности проявления горного давления и напряженно-деформированное состояние пласта и боковых пород достаточно не изучены. Исследование горных процессов на эквивалентных материалах не всегда дают достоверные данные из-за трудности моделирования истинного состояния массива, а полученные результаты чаще всего являются частным случаем определяемым конкретными условиями моделирования. Поэтому, наряду с исследованиями на моделях или в натуральных условиях, желательны аналитические исследования, которые позволяют выявить влияния на параметры забоя различных факторов как, например, глубина разработки, мощность комбайнового слоя и верхней угольной толщи, ширина поддерживаемого пространства, физико-механические свойства пласта и окружающего массива.*

**Ключевые слова:** Горное давление, аналитические исследования, напряжение, деформирование, боковые породы.

## ANALYTICAL RESEARCHES OF THE STRESSED-DEFORMED STATE OF THE CEILING SLAVE

Abdugaliyeva G. B., Buzauova T.M., Okimbayeva A.E., Rakhimova A.B.

*At present, the experience of developing high - capacity layers of high-rise bottomholes is insignificant, so the regularities of the manifestation of rock pressure and the stress-strain state of the formation and side rocks are not sufficiently studied. Studies of mining processes on equivalent materials do not always provide reliable data due to the difficulty of modeling the true state of the massif, and the results obtained are often a special case determined by specific modeling conditions. Therefore, along with studies on models or in-situ conditions, analytical studies are desirable that allow you to identify the impact of various factors on the parameters of the face, such as the depth of development, the power of the combine layer and the upper coal layer, the width of the supported space, the physical and mechanical properties of the reservoir and the surrounding massif.*

**Keywords:** Mining pressure, analytical studies, stress, deformation, side solids.

Аналитические решения подобных задач с прямолинейной формой забоя были даны Г.И.Баренблетом, С.А.Христиановичем, С.В.Кунецовым и др. При этом задача сводится к определению напряженного состояния тяжелой плоскости расклиненной штампом с прямолинейным основанием. Рассмотрим, процессы, происходящие при отработке мощного пласта потолкоуступным забоем.

При выезде механизированного комплекса из монтажной камеры производится формирование потолкоуступного забоя, т.е. вынимается лента угля комбайнового (подсечного) слоя и механизированная крепь подхватывает обнажающий уступ верхней толщи. Непосредственно за крепью или с некоторым отставанием от нее происходит обрушение пород непосредственной кровли, которые образуют на почве пласта слой толщиной

$\lambda m_H$ , где  $\lambda$  - коэффициент разрыхления обрушающихся пород;  $m_H$  - мощность пород непосредственной кровли.

По мере подвигания фронта очистных работ происходит конвергенция боковых пород массива и после достижения некоторой критической величины опускания основной кровли под действием растягивающих напряжений происходит ее разрушение (первичная посадка) и обращающиеся куски породы опускаются на раннее обрушенные породы непосредственной кровли.

В зависимости от мощности слоя пород лежащих на почве обрушения основной кровли будет происходить упорядочено или хаотично. В первом случае, ввиду небольшого зазора между зависящей непосредственной кровлей и толщиной слоя обрушенных пород сохраняется естественная ориентация слоев.

При дальнейшем подвигании имеем консольно зависящую основную кровлю, которая обрушается с некоторым шагом  $L$  или плавно опускается на обрушенные породы.

В условиях Карагандинского бассейна слой непосредственной кровли обычно обрушается вслед за передвижной механизированной крепи или с небольшим, до двух шагов передвижки, отставанием. Поэтому можно считать, что обрушение происходит по линии погашения уступа верхней угольной толщи. Таким образом, верхний уступ состоит из породного прослойка и погашаемого слоя угля.

Заметим, что условия сплошности уступа верхней толщи требует, чтобы обеспечение его постоянной длины (по условию задачи) осуществлялось принудительными методами так как в случае хаотического обрушения имеет место трещинообразование на значительное расстояние от линии облома консоли верхней толщи.

Следовательно, такая постановка задачи в первую очередь пригодна для технологических схем выемки с механизированным погашением верхней угольной толщи. Где  $H$  – глубина разработки;  $m_k$  – мощность комбайнового слоя;  $m_y$  – мощность уступа подкровельной угольной толщи;  $m_H$  – мощность обрушающихся непосредственно за подвиганием крепи пород непосредственной кровли которые устилают почву на некоторую высоту  $\lambda m_H$ .

Будем считать, что касательные напряжения по границе кровля и почва отсутствуют или:

$$x_y = 0; \quad y = 0; \quad -\infty < x \leq \infty$$

Примем, что суммарное давление на уступ верхней толщи распределено по всей его длине с интенсивностью  $Q^*(z)$ , примем в общем случае закономерности изменения  $Q^*(z)$  заранее не известны и подлежат определению.

При наличии обращаемых пород непосредственно за крепью  $Q^*(z)$  относим к слою  $m_H$  причем считаем, что работа на изгиб слоя породы и уступа подкровельной толщи происходит совместно.

Напряжения в массиве при разработке пласта записываются следующим образом:

$$\sigma_x = \sigma_x^0 + x_x; \sigma_y = \sigma_y^0 + y_y; \tau_{xy} = x_y \quad (1)$$

где  $x_x; y_y; x_y$  - дополнительные компоненты напряжений.

$\sigma_x^0; \sigma_y^0$  - напряжение при исходном горном давлении.

$$\sigma_x^0 = -\alpha\gamma(H - y); \sigma_y^0 = -\gamma(H - y)$$

Если  $U$  и  $V$  компоненты смещения массива, то в комплексном виде величины  $x_x, y_y, x_y, U, V$  можно записать таким образом:

$$x_x + ix_y = \phi(z) + \bar{\phi}(z) - (z - z)\bar{\phi}'(z) - \bar{\Omega}(z) \quad (2)$$

$$y_x - ix_y = \phi(z) + \bar{\phi}(z) + (z - z)\bar{\phi}'(z) + \bar{\Omega}(z) \quad (3)$$

$$2\mu \left( \frac{du}{dx} + i \frac{dv}{dx} \right) = x\phi(z) - \bar{\phi}(z) - (z - z)\bar{\phi}'(z) - \bar{\Omega}(z) \quad (4)$$

$$\Omega(\infty) = \phi(\infty) = 0 \quad (5)$$

$$z = x + iy; \mu = \frac{E}{2(1 + \nu)}; \partial \ell = 3 - 4\nu$$

где  $E$  - модуль упругости;  $\nu$  - коэффициент Пуассона.

Таким образом, параметры потолкоуступного забоя могут оказывать существенное влияние на его напряженное состояние. Сокращение длины, увеличение мощности уступа в ряде случаев приводит к повышению его устойчивости в призабойной зоне.

Из приведенных соотношений также следует, что для повышения эффективности управления горным давлением и производственными операциями по погашению угля параметры забоя должны изменяться при продвижении лавы. В частности к моменту осадки основной кровли для уменьшения вероятности завала лавы величину  $\frac{m_H + m_y}{m_k}$  следует выбирать

так, чтобы в уступе действовали минимальные растягивающие напряжения.

На основе метода аналитического определения момента обрушения консольно зависающей кровли с применением теории комплексной переменной разработан способ расчета параметров потолкоуступного забоя, в зависимости от глубины разработки, физико-механических свойств массива пород и угля, величины подвигания лавы, мощности и ширины уступа верхней толщи, сопротивления механизированной крепи.

На состояние потолкоуступного забоя существенное влияние оказывает глубина разработки и объемный вес слагающих пород с увеличением которых растягивающие напряжение в уступе верхней толщи увеличивается. Например, при увеличении  $H$  с 80 до 150м и  $\gamma$  с 1,4 до 2,5  $t/m^2$   $\sigma_p'$

соответственно увеличивается в 1,9 и 1,7 раза при подвигании крепи  $50n_{\text{ч}}$ . С увеличением подвигания крепи  $\sigma'_p$  резко увеличивается, например при подвигании крепи с  $22n_{\text{ч}}$  до  $100n_{\text{ч}}$   $\sigma'_p$  возрастает в 3 раза.

Устойчивость уступа верхней толщи увеличивается с его расслоением на отдельные слои (при отсутствии развитых поперечных трещин) при этом давление на уступ в значительной мере определяется сопротивлением крепи.

Основная модель взаимодействия механизированной крепи и инструмента исполнительного органа работающего поперек напластования с уступом верхней толщи должна учитывать слоистость массива, который при достаточном предельном напряжении на сцепление должен считаться сплошным, а при малых значениях этих напряжений пакетом слоев.

### Список литературы

1. Жетесов С.С., Бейсембаев К.М., Шманов М.Н., Абдугалиева Г.Б Перспективы подземных технологий добычи //Труды Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы горно-металлургического комплекса Казахстана», А.С. Сагиновские чтения №1. (23-24 декабря 2009г.). Часть 1 – Караганда: Изд-во КарГТУ, 2009.– С.
2. Жетесов С.С., Бейсембаев К.М., Шманов М.Н., Абдугалиева Г.Б Геомеханические особенности управления лавой //Труды Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы горно-металлургического комплекса Казахстана», А.С. Сагиновские чтения №1. (23-24 декабря 2009г.).– Караганда: Изд-во КарГТУ, 2009.– С.7

УДК 622.322.8

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩИХ ОРГАНОВ ПРОХОДЧЕСКО-ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ КАЛИЙНЫХ РУДНИКОВ

Шишлянников Д.И., канд. техн. наук, доц., Суханов А.Е., студент

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия

*Рассмотрены способы разрушения калийных пластов перекрестными резами. Представлены конструкции перспективных исполнительных органов проходческо-очистных комбайнов, реализующих перекрестную схему резания калийного массива.*

*Ключевые слова:* проходческо-очистной комбайн, перекрестная схема резания, исполнительный орган, калийная руда.

## IMPROVEMENT OF ROCK-BREAKING TOOL HEADING-AND-WINNING MACHINE POTASH MINES

Shishlyannikov D.I., Sukhanov A.E.

*Considered the methods of destruction potash layers cross-cuts. The design of a prospective executive harvesters, implementing cross-cutting scheme potash array.*

*Keywords:* mining machine, cross-cutting scheme, the executive body, potash ore.

Процессы резания калийной руды сопровождаются ее измельчением, что ведет к увеличению выхода мелких фракций размером менее 0,25 мм. Согласно литературным источникам [8] содержание в перерабатываемой руде пылевидных частиц влечет снижение прибыли горнодобывающих предприятий. Повышение эффективности подземных технологий при разработке калийных пластов может быть обеспечено при внедрении комбайнов, разрушающих забой перекрестными резами.

По сравнению с традиционными способами разрушения, основанными на использовании комбайнов с планетарно-дисковыми, роторными и шнековыми исполнительными органами, удельное энергопотребление на разрушение при перекрестном способе снижается на десятки процентов, а выход мелких фракций в руде более, чем на порядок. Результаты экспериментальных исследований показывают, что эффективное разрушение калийных образцов обеспечивается резами малой толщины ( $h=5-10$  мм), с наименьшим энергопотреблением при шаге резания  $t=30$  мм, и с минимальным выходом мелких фракций в руде при  $t=40-60$  мм [6].

Впервые способ разрушения горного массива перекрестными резами предложен в 2008 г. в ОАО «Сильвинит» [1]. Реализация способа основывается на использовании комбинированного исполнительного органа, состоящего из дисков 1, установленных на рукоятях 2 и ротора 3, выполненного в виде двулучевой планшайбы, закрепленной на корпусе раздаточного редуктора 4 (рис. 1).

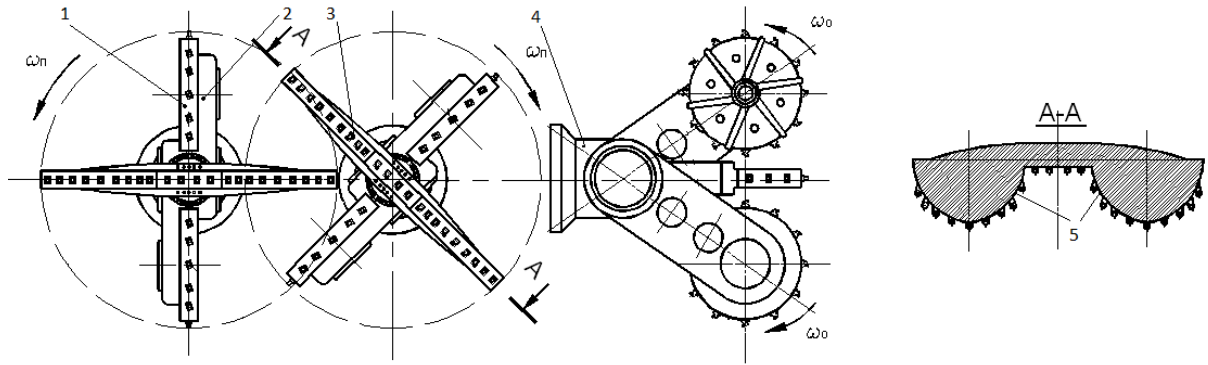


Рис. 1. Схема комбинированного сдвоенного планетарно-дискового исполнительного органа с двулучевыми планшайбами

Согласно [9], если опорную поверхность 5 ротора 3 выполнить в виде полуокружности с диаметром, равным диаметру резцовых дисков, то при совместном расположении глубина резов в местах пересечения будет разной, за исключением одного реза при текущем значении угла положения резца равном:  $\varphi = \pi/2$ , в результате чего снижается эффективность отбойки горной массы перекрестными резами.

Вследствие увеличения шага радиальных резов на периферийной части забоя невозможна реализация схемы перекрестного резания. Для устранения этого недостатка предложен исполнительный орган (рис. 2, а), состоящий из наклонно установленных дисков 2, осуществляющих относительное и переносное движение резцов 3. Гребёнки ротора 1 расположены за передними и задними режущими кромками дисков 2 и жестко крепятся к корпусу редуктора 5 через неподвижный вал 4 [4].

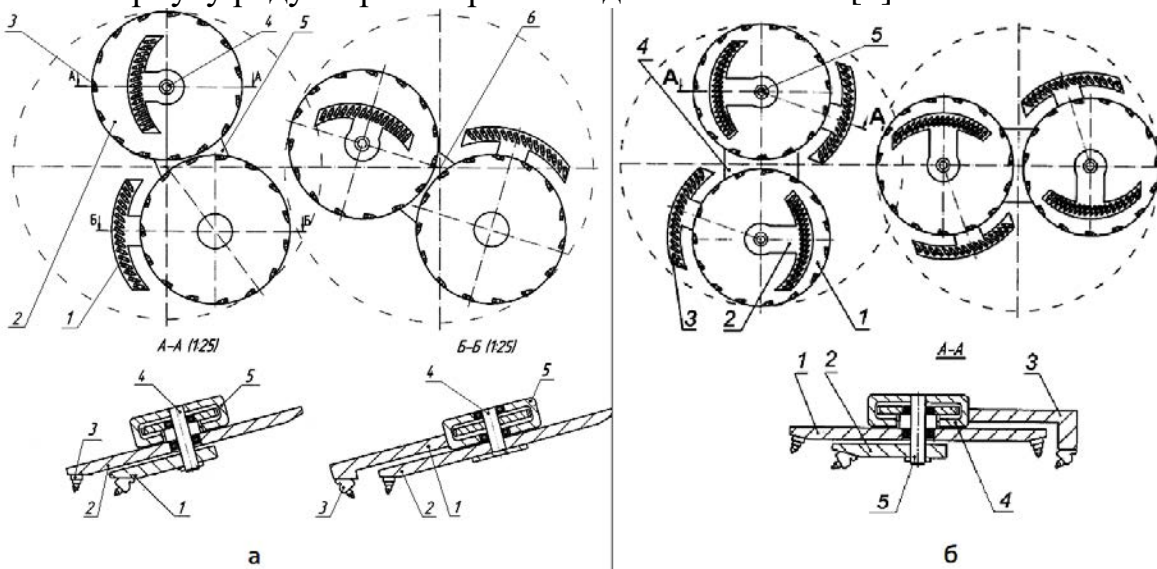


Рис. 1. Схемы: а - сдвоенного роторно-дискового исполнительного органа, б - сдвоенного плоско-дискового исполнительного органа.

Преимущество планетарных наклонно-дисковых органов в том, что по всей длине резов существует прямая зависимость между глубиной и шагом резания. Если диски 2 планетарного органа установить с наклоном в противоположные стороны, то забой будет разрушаться передней кромкой одного диска и задней кромкой другого [3]. При этом центральная и перифе-

рийная часть забоя (относительно оси вращения б) разрушается перекрестными резами дисков, а средняя часть забоя – пересекающимися резами дисков и гребенок ротора (рис. 3). Данная компоновка позволяет уменьшить количество резцов на гребенках ротора.

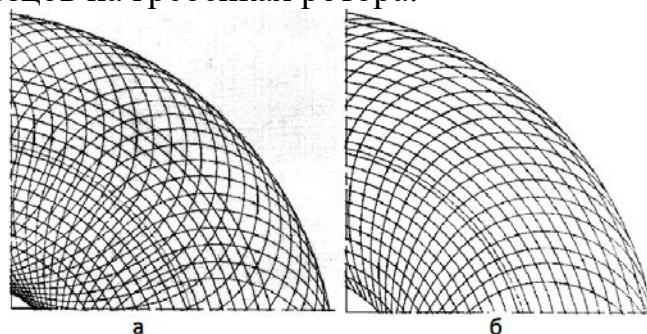


Рис. 3. Схема резания комбинированного наклонно-дискового исполнительного органа: а) при наклоне дисков в разные стороны; б) при наклоне дисков в одну сторону

Высокопроизводительная работа комбайнов при малой глубине резов возможна при высокой скорости резания либо при увеличении количества исполнительных органов. Для реализации второго варианта предложен способ разрушения, основанный на использовании плоско-дисковых исполнительных органов (рис. 2, б), у которых за передней и задней режущими кромками дисков установлены роторные гребенки [5].

Основным недостатком рассмотренных конструкций является большое количество резцов, одновременно контактирующих с забоем, что обусловлено необходимостью поддержания значений параметров резания в интервалах, обеспечивающих минимальные энергозатраты. Для устранения этого недостатка сотрудниками кафедры ГЭМ ПНИПУ предложен способ разрушения массива реализуемыми планетарно-дисковым органом (рис. 4) [2].

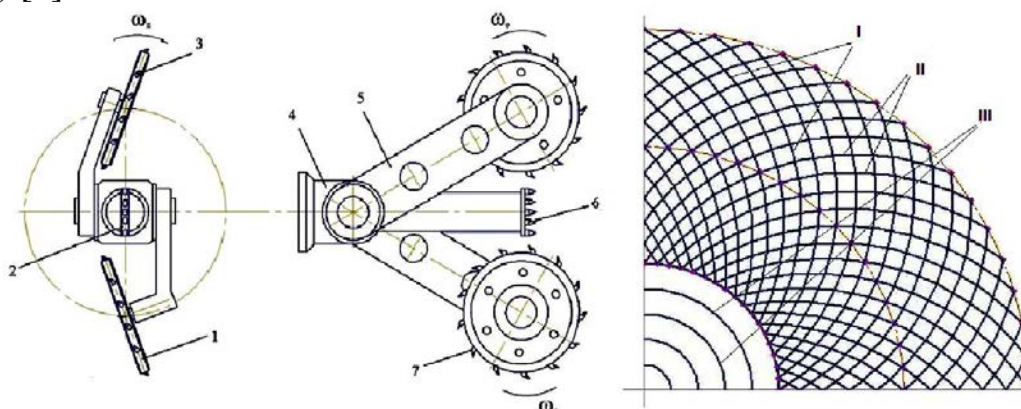


Рис. 4. Планетарно-дисковый исполнительного органа с наклоном режущих дисков относительно плоскости симметрии и его схема резания:

I, II – резы вращающихся в противоположные стороны дисков; III – резы забурника

Конструкция предлагаемого исполнительного органа состоит из дисков 1 и 3, вращающихся в противоположные стороны и установленных под углом к плоскости симметрии 2. Резцы поворотного диска 3 разрушают массив последовательными радиально-тангенциальными резами, идущими от центра к периферии забоя. Резцы диска 1 реализуют тангенциально-

радиальные резы от периферии к центру забоя. Вращающий момент на диски 1, 3 с резами 7 передается раздаточным редуктором 4 и поворотными редукторами 5. Разнонаправленное вращение и переносное движение дисков обеспечивают создание на поверхности калийного массива сетки пересекающихся резов (рис. 4). Центр забоя обрабатывается забурником 6.

Конструкция и привод планетарного органа незначительно отличаются от серийных исполнительных органов, установленных на комбайнах типа «Урал», и поэтому для их внедрения потребуются небольшие затраты.

Реализуемые посредством предложенных исполнительных органов перекрестные схемы резания позволяют снизить средние значения и динамику нагрузок на резах, что обуславливает повышение надежности приводов комбайнов, уменьшение энергопотребления и количества мелких классов в отбитой калийной руде. Вопросы уменьшения пылеобразования при погрузке отбитой руды шнеками и скребковыми перегружателями проходческо-очистных комбайнов рассмотрены в работах [7, 10].

#### Список литературы

1. Долгов В. Л. Совершенствование плоско-планетарных исполнительных органов проходческих комбайнов. – В кн.: Горная электромеханика и механизация горных работ. М.: Недра, 1969. – 383 с.
2. Заявка на патент РФ №2013113586. Способ разрушения горного массива перекрестными резами/ Н.В. Чекмасов, Д.И. Шишлянников, ПНИПУ; от 26.03.2013.
3. Патент РФ № 2375571. Способ разрушения массива перекрестными резами/ Н.В. Чекмасов, А.Н. Чистяков, В.В. Семенов, Д.И. Шишлянников, ОАО «Сильвинит»; опубл. 10.12.2009.
4. Патент РФ № 2460882. Способ разрушения горного массива перекрестными резами/ Н.В. Чекмасов, ООО «РКЦ»; опубл. 10.09.2012.
5. Патент РФ № 2465458. Способ разрушения горного массива перекрестными резами/ Н.В. Чекмасов, Г.Д. Трифанов, ПНИПУ; опубл. 27.10.2012.
6. Старков Л.И., Харламова Н.А. Исследование схемы перекрестного резания // Горный журнал. Известия вузов. 1997. № 7–8. С. 74–76.
7. Суханов А.Е., Максимов А.Б., «Обоснование параметров погрузочного оборудования проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р» // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых: материалы XI Всероссийской научно-технической конференции – Пермь, ПНИПУ, 2018, – с. 433.
8. Тетерина Р.Х., Сабиров Л.Я., Кириченко Л.Н. Технология флотационного обогащения калийных руд – Пермь, «Соликамская типография», 2002 г. – 485 с.
9. Чекмасов Н.В., Шишлянников Д.И., Лоскутов Л.А., Вагин Е.О. Разработка перспективных исполнительных органов комбайнов для добычи калийной руды. – Master Journal, ПНИПУ, 2016 – с. 264.
10. Шишлянников Д. И., Максимов А. Б., Трифанов Г. Д., Чекмасов Н. В., Исследование процесса формирования необогатимых классов калийной руды при добыче, погрузке и транспортировании // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. - 2019. - Вып. 2. - С. 231-243., ВАК



УДК 622.331.002.5

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ВСАСЫВАЮЩЕГО СОПЛА МАШИНЫ ДЛЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ УБОРКИ ФРЕЗЕРНОГО ТОРФА

Яблонев А.Л., проф., Щербакова Д.М., асп.

Тверской государственной технической университет, г. Тверь, Россия

*Приведены результаты экспериментального исследования всасывающего факела, образуемого соплом машины для пневматической уборки фрезерного торфа. Определены скорости всасывания в различных точках факела. Отмечены недостатки конструкции, и предложены решения, способные улучшить работу пневмоуборочной машины.*

*Ключевые слова: фрезерный торф, пневмоуборочная машина, всасывающее сопло, скорость всасывания, всасывающий факел.*

## STUDY OF WORK OF THE SUCKING NOZZLE OF PNEUMATIC HARVESTING MACHINE FOR MILLED PEAT

Yablonev A.L., Scherbakova D.M.

*The results of the experimental study of the suction torch, formed by the nozzle of the machine for pneumatic harvesting of milled peat, are presented. The suction speeds at different points of the torch have been determined. The design flaws have been noted and solutions have been proposed that can improve the operation of the pneumatic harvesting machine.*

*Keywords: milled peat, pneumatic harvester, sucking nozzle, sucking speed, sucking torch.*

Добыча фрезерного торфа в России и в мире традиционно осуществляется как механическим, так и пневматическим методом, распространенным еще с 1930-х годов [1, 2]. Преимущество пневматического метода уборки заключается в укороченной продолжительности цикла, благодаря чему, из-за погодных условий, надежность этого метода выше [3]. Однако в 70-80-х годах прошлого века пневмоуборочные машины постепенно перестали использовать из-за их частых возгораний вследствие статического электричества, возникающего при трении фрезерной крошки о поверхности желобов. И только в последние годы, благодаря применению в конструкциях нержавеющей стали и алюминия этот метод обрел вторую жизнь, обеспечивая минимальные потери торфа и отсутствие подфрезерования влажной залежи при уборке [4]. В России сегодня некоторые торфодобывающие компании закупили и используют белорусские машины МПТУ-30 и Эстонские КТТ-2. Эти машины являются однотипными и различаются лишь в деталях. Однако, при их работе возникают трудности во время уборке переходных и низинных торфов, что вызвало необходимость проведения экспериментального исследования, направленного на оценку всасывающей способности одного из данных аппаратов, работающего на предприятии ООО «Пиндструп» в Псковской области. Результаты этого исследования, их обработка и выводы представлены в данной статье.

Всасывание фрезерной крошки в пневмоуборочных машинах производится соплами, как правило, без принудительной активизации расстила, и обеспечивается разностью вакуумметрического давления, создаваемого

вентилятором в пневмосистеме машины и атмосферного давления окружающей среды [5, 6]. В результате атмосферный воздух засасывается в сопло и увлекает за собой частицы торфа, расположенные в зоне действия всасывающего факела. При этом на частицы торфа действуют сила веса, подъемная сила, сила трения и сила давления воздушного потока [7]. Сила давления воздушного потока должна обеспечивать создание подъемной силы и преодоление силы веса частицы и касательной силы трения. Скорость воздушного потока по мере удаления от сопла постепенно уменьшается, разделяя всю область всасывающего факела на две зоны – активного и пассивного действия. Исследованиями [5, 6, 8 и др.] определена необходимая скорость воздушного потока на входе в сопло (25–35 м/с) и рекомендовано упрощенное выражение по оценке скорости воздушного потока  $V_x$  в точке, отстоящей от всасывающего сопла на величину  $x$  по оси всасывающего факела:

$$V_x = \frac{v_0}{1 + \frac{10x^2}{S}},$$

где  $v_0$  – скорость воздушного потока в живом сечении сопла;  $x$  – расстояние от точки до всасывающего сопла по оси факела;  $S$  – площадь живого сечения всасывающего факела.

В активной зоне скорость воздушного потока достаточна для преодоления сил трения, веса и создания подъемной силы частицы торфа. В пассивной зоне, ввиду гораздо меньшей скорости воздушного потока, не обеспечивается создание подъемной силы. Начало пассивной зоны обеспечено скоростью воздушного потока около 12–15 м/с [8].

После всасывающих сопел, частицы торфа в пневмоуборочных машинах проходят участки вертикального и горизонтального транспортирования, а также разделения торфовоздушной смеси на торф и воздух. Учитывая тот факт, что проблемы при уборке низинного торфа (имеющего большую плотность, чем верховой) возникают именно на стадии всасывания, было решено исследовать и проанализировать скоростное поле всасывающего факела машины КТТ-2 [9, 10].

Для измерения скорости воздуха применялся термоанемометр GM8903, имеющий возможность совмещения с ПК и диапазон измеряемой скорости от 0,3 до 30 м/с при точности измерения  $\pm 3\%$ . Перед соплом размещалась металлическая координатная сетка с шагом ячейки 100 мм, в узлах которой устанавливался выносной щуп прибора. Для оценки влияния на скорость воздушного потока воздействия соседнего сопла, последнее отгораживалось воздухонепроницаемой перегородкой и в журнал проведения эксперимента заносились показания с учетом и без учета влияния воздушного потока соседнего сопла на скорость.

Результаты измерений и вычислений (среднего значения по пяти замерам) представлены в виде графика зависимости скорости воздушного

потока при всасывании от координаты расположения точки замера по длине сопла и по удалению от него по оси факела (рис.).

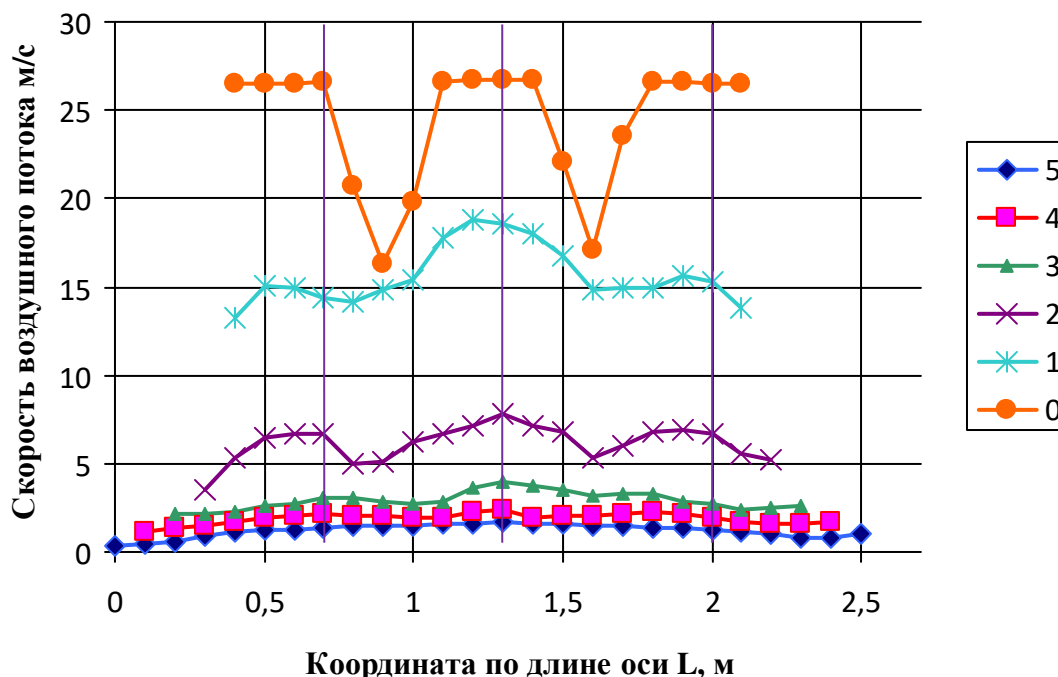


Рис. Зависимость скорости воздушного потока при всасывании левым соплом машины КТТ-2 от координаты по длине сопла и расстояния удаления точки замера от сопла по линии оси факела: 0 – удаление равно 0 (скорость измерена на входе в сопло); 1 – удаление от сопла – 0,1 м; 2 – удаление от сопла – 0,2 м; 3 – удаление от сопла – 0,3 м; 4 – удаление от сопла – 0,4 м; 5 – удаление от сопла – 0,5 м

Анализ графических зависимостей, отображенных на рис. показал, что в большинстве кривых присутствуют две зоны «провала» скорости потока, объясняемые наличием воздухонепроницаемых усилительных ребер, связывающих нижнюю и верхнюю кромки стеклопластикового сопла.

Полученная опытным путем максимальная скорость всасывания ( $V_1 = 26,74$  м/с) и небольшая зона активного действия всасывающего факела подтверждают возникновение трудностей при уборке более плотных видов торфа. Выход из данной ситуации, для увеличения продуктивности работы предприятия [10], может быть в увеличении максимальной скорости всасывания и оптимизации зоны активного действия всасывающего сопла.

### Выводы

1. Исследован всасывающий факел пневмоуборочной машины КТТ-2. Определено максимальное значение (26,74 м/с) и минимальное значение (0,3 м/с) скорости воздушного потока в исследуемой зоне.
2. Определена зона активного действия всасывающего факела при удалении от сопла, которая составляет 0,078–0,142 м.
3. Ввиду невысокого максимального значения скорости всасывания, рекомендовано повысить ее путем уменьшения высоты входной щели сопла с 100 до 80 мм, что, по нашим расчетам позволит повысить скорость

всасывания до 33,43 м/с и оптимизировать активную зону всасывания, для чего следует провести дополнительные лабораторные исследования.

4. Поскольку воздухопроницаемые усилительные ребра сопел значительно ослабляют всасывающий факел, следует рассмотреть вопрос об изготовлении их с частичной проницаемостью и ориентированными вдоль линий тока.

### Список литературы

1. Панов В.В., Мисников О.С., Купорова А.В. Проблемы и перспективы развития торфяного производства в Российской Федерации // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-техн. журнал). 2017. № 5. С. 105–117.
2. Richard Lindsay, Richard Birnie. Commercial Peat Extraction // IUCNUK Committee Peatland Programme, 2014. No. 6. pp. 1–5.
3. Chertkova E., Sizova V. Production and Technological Parameters of Milled Peat Extraction Depending on Organization of Peat Machines Operations // E3S Web of Conferences: IV<sup>th</sup> International Innovative Mining Symposium. 2019. vol. 105. p. 01002. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910501002>
4. Kremcheev E.A., Kremcheeva D.A. Technological Approaches to Reducing the Loss of Peat Raw Materials in Fields with Hydrological Regime // Indian Journal of Science and Technology. 2016. vol. 9. no. 12. p. 89525.
5. Горцакалян Л.О., Чернышев В.В. Исследование скоростного поля всасывающего, нагнетательного и всасывающе-нагнетательного факелов активного сопла пневмоуборочной машины // Технология и комплексная механизация торфяного производства: межвузовский тематический сборник. Калинин: КПИ, 1977. С. 28–32.
6. Горцакалян Л.О. Влияние поступательной скорости пневмоуборочной машины на изменение концентрации аэросмеси // Механизация процессов добычи и переработки торфа: труды Калининского политехнического института. М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1974. С. 20–24.
7. Соболев А.А., Мельник П.А., Тютюнник А.О. Движение частиц в воздушном потоке // Вектор науки ТГУ, 2011. № 3 (17). С. 82–86.
8. Солопов С.Г., Горцакалян С.Г., Чернышев В.В. Определение минимальной скорости воздушного потока на входе во всасывающее сопло пневмоуборочной машины // Механизация добычи торфа: сб. научн. тр. М.: Недра, 1974. вып. XVII (XIII). С. 5–9.
9. Яблонев А.Л., Щербакова Д.М., Андрианова А.А. Экспериментальное определение скорости витания торфяных частиц в пневмотранспортных установках // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: мат-лы Междун. конф. под общ. ред. Р.А. Ковалева (Тула, 30–31 октября 2018 г.). Тула: ТулГУ, 2018. С. 117–124.
10. Яблонев А.Л., Щербакова Д.М. Исследование всасывающего факела торфяной пневмоуборочной машины КТТ-2 // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-техн. журнал). 2019. № 12 (S 39). С. 47–58.

УДК 622.331.002.5

## МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ КУСКОВОГО ТОРФА

Яблонев А.Л., проф., Гусева А.М., асп.

Тверской государственной технической университет, г. Тверь, Россия

*Приведены результаты исследования по разработке и созданию конструкции механического стенда для испытания на прочность кускового торфа и другой формованной продукции с разработкой методики его использования на практике. Применение такого оборудования для оперативного контроля качества кускового торфа позволит организовать рациональный режим работы машин для производства куска.*

**Ключевые слова:** кусковой торф, стенд, испытания, цифровой динамометр, шнековый пресс, прочность на изгиб, разрушение, деформация.

## MECHANICAL EQUIPMENT FOR SOD PEAT FLEXURAL STRENGTH TESTING

Yablonev A.L., Guseva A.M.

*The results of the study on the development and creation of a mechanical stand for testing the strength of sod peat and other formed products with the development of the method of its application in practice are presented. The use of such equipment for operational control of the quality of sod peat will allow to organize a rational mode of operation of machines for the production it.*

**Keywords:** sod peat, stand, testing, digital load cell, screw press, flexural strength, destruction, deformation.

Добыча кускового торфа направлена на удовлетворение потребностей объектов коммунально-бытового сектора в местном твердом топливе. Появление на рынке новых видов фрезформовочных и стилочных машин для производства куска способствует решению этой проблемы [1–3]. Однако достижение высокого качества кускового торфа связано с необходимостью систематического контроля получаемой продукции и внесением своевременных изменений в производственные режимы вышеуказанных машин [4] из-за разной качественной характеристики торфяного сырья [5] для исключения потерь торфа [6].

На сегодняшний день известно два способа оценки качества формованной торфяной продукции [7, 8]:

- определение механической прочности кускового торфа или брикета путем испытания во вращающемся барабане по крошимости кусков, определяющей, соответственно, относительную механическую прочность;
- испытание формованного торфа на изгиб на гидравлическом прессе.

Однако использование гидравлического пресса не позволяет исключить из испытаний на прочность динамические нагрузки, неизбежно возникающие в случае его ручного привода, и регулировать скорость движения штока гидроцилиндра (для предотвращения удара) в случае его гидропривода. Кроме того, оценка разрушающей нагрузки по давлению жидкости в системе обладает элементом инерционности, что также не способствует точному определению параметров.

С целью минимизации вышеуказанных факторов и обеспечения возможности оперативного контроля качества продукции, разработана конструкция стенда для испытания образцов на прочность с ручным многоступенчатым приводом, преобразующим вращательное движение штурвала в поступательное конического наконечника (рис.).



Рис. Испытание на изгибную прочность образцов кускового торфа

Узел измерения разрушающей нагрузки выполнен в виде тензометрической S-образной скобы с коническим наконечником и закреплен на зубчатой рейке. Тензоскоба соединена с цифровым динамометром ДОУ-3-1И, имеющим верхний предел измерений 1 кН [9].

Конструкция механического привода с многоступенчатым зубчатым зацеплением позволяет обеспечить плавное создание разрушающей нагрузки с коэффициентом усиления до 500, в результате чего снижается необходимость приложения больших усилий к штурвалу. Таким образом, при ручном воздействии на обечайку штурвала с силой 10 Н разрушающая нагрузка, создаваемая устройством, составляет около 5000 Н.

Выполнение установочных опор регулируемыми позволяет проводить испытание образцов различной формы и размеров, длиной испытываемой части от 75 до 300 мм, шириной и высотой от 1 до 130 мм. Выполнение поверхности базирующих установочных опор и конического наконеч-

ника в виде поверхностей с радиусом постоянной кривизны предотвращает образование и развитие трещин в образце, снижает риск скалывания, следовательно – повышает качество получаемых результатов.

Прочность образца на изгиб ( $\sigma$ ) в наиболее нагруженной точке (посередине образца) для образцов круглого и прямоугольного сечения может быть определена, по формулам [10]:

$$\sigma_{\text{икр}} = 8FL/\pi d^3, \quad (1)$$

$$\sigma_{\text{ипр}} = 1,5FL/bh^2, \quad (2)$$

где  $F$  – разрушающее усилие;  $L$  – расстояние между установочными опорами;  $d$ ,  $b$  и  $h$  – наружный диаметр, ширина и высота сечения образца.

С целью определения рациональных режимов работы формующих устройств фрезформовочных машин был проведен эксперимент по оценке энергоемкости формования предварительно диспергированного верхового торфа степенью разложения 25–30 % со средним оптимальным содержанием влаги находящемся в диапазоне 82–84 % на различных режимах с помощью лабораторного шнекового пресса. В результате опытов были получены квадратичные зависимости энергоемкости формования от частоты вращения шнека при различных коэффициентах напора и шаге витков шнека пресса. Их анализ показал, что наименьшая энергоемкость наблюдается при режимах 220–320 об/мин шнека, коэффициенте напора  $k_n$  равном 2,22 и шаге витков шнека близком к половине наружного диаметра шнека [11].

После формования на различных режимах, куски торфа были разложены в специальные кюветы и подвергнуты сушке в мягком режиме ( $t = 17\text{--}21^\circ\text{C}$ ) на протяжении 25 суток до достижения среднего равновесного содержания влаги  $w = 23,12\%$ . Затем была определена прочность кусков на разработанном стенде с использованием зависимостей (1) и (2) путем разрушения образцов. Полученные в ходе обработки данных логарифмические кривые оказались близкими по форме к кривым, описывающим зависимость плотности от частоты вращения шнека, что подтверждает предположение о линейной зависимости плотности и прочности [11].

Поскольку минимальная энергоемкость формования наблюдается при скорости вращения шнека 220–320 об/мин, для скорости 270 об/мин построен график зависимости прочности кускового торфа от энергоемкости формования. Как следует из полученной зависимости, интенсивность роста прочности куска при увеличении энергоемкости падает при изменении  $k_n$  от 2,22 до 2,96. Поэтому формование при коэффициенте напора  $k_n=2,22$  можно считать рациональным режимом.

Максимальная прочность сформованных кусков соответствует большей частоте вращения и меньшему шагу витков шнека. Очевидно, что меньшая энергоемкость и большая прочность кусков, достигаемая при использовании шнека с шагом витков 50 мм, обеспечивает работу машины в более рациональном режиме. Следовательно, шаг витков шнека должен быть близок к половине наружного диаметра шнека.

Полученные результаты по оценке прочности кускового торфа согласуются с известными ранее данными [4], но достигнуты с меньшими затратами, поскольку при испытании применялось ручное механическое оборудование. При этом закругленные края испытательного узла станда обеспечивали при испытаниях разрушение при «чистом» изгибе, а не изгибе со скалыванием через образование трещин. Последнее является чрезвычайно важным обстоятельством, т. к. позволяет создавать режимы нагружения близкие к существующим в реальных условиях [9].

Проектирование и использование фрезформовочных и стилочных машин в рациональных режимах позволит снизить потери торфа при реализации технологии его добычи и уменьшить удельные энергозатраты с сохранением прочности куска.

### Список литературы

1. Misnikov O.S. Basic Technologies and Equipment Used for Peat Deposits Development in Foreign Countries // [E3S Web of Conferences](#) «III nd International Innovative Mining Symposium». Vol. 41. 2018. P. 01046. DOI: [10.1051/e3sconf/20184101046](https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184101046)
2. Панов В.В., Мисников О.С., Купорова А.В. Проблемы и перспективы развития торфяного производства в Российской Федерации // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. № 5. С. 105–117.
3. Мисников О. С., Тимофеев А. Е. Михайлов А. А. Анализ технологий разработки торфяных месторождений в странах дальнего и ближнего зарубежья // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-техн. журнал). 2011. № 9. С. 84–92.
4. Лазарев А.В., Корчунов С.С. и др. Справочник по торфу. М.: Недра, 1982. 760 с.
5. Михайлов А.В., Большунов А.В., Кремчев Э.А., Епифанцев К.В. Требования к торфяному сырью для производства окускованного топлива// Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. № 4. С. 59–63.
6. Kremcheev E.A., Kremcheeva D.A. Technological Approaches to Reducing the Loss of Peat Raw Materials in Fields with Hydrological Regime // Indian Journal of Science and Technology. 2016. Vol. 9. No. 12. p. 89525.
7. Семенский Е.П. Технический анализ торфа. М.: Недра, 1966. 232 с.
8. Булышко М.Г., Иванов В.Н., Сарматов М.И. Брикетирование торфа. М.: Госэнергоиздат, 1962. 303 с.
9. Патент РФ 2696070. Устройство для создания и измерения разрушающей нагрузки / Яблонев А.Л., Гусева А.М., Жуков Н.М.; Заявл. 7.12.2018. Оpubл. 30.07.2019. Бюл. № 22.
10. Степин П.А. Соппротивление материалов. М.: Высшая школа, 1988. 367 с.
11. 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.



УДК 622.242.2

**МОДЕРНИЗАЦИЯ СЕРИЙНЫХ БУРОВЫХ СВЕРЛ SANDVIK  
СЕРИИ DL-421 В УСЛОВИЯХ ПОДЗЕМНОГО РУДНИКА  
НУРКАЗГАН**

**Ермек Е. Е.**, магистрант,

Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда

*Описана модернизация буровых сверл, повышение производительности и прибыльности при подземной разработке.*

**Ключевые слова:** бурение скважин, подземные работы, буровые сверла, добыча руды, конструкция, учушения.

**MODERNIZATION OF SANDVIK SERIAL DRILLS OF THE DL-421  
SERIES UNDER THE CONDITIONS OF THE NURKAZGAN  
UNDERGROUND MINING**

**Yermek Y. Y.**

*In this article, is a modernization of drill bits, increasing productivity and profitability in underground mining.*

**Keywords.** Well drilling, underground work, drill bits, ore mining, construction, apprenticeships.

Sandvik Mining объявила о значительном повышении производительности своих серийных буровых сверл серии DL401, предназначенных для обеспечения непрерывной и высокой производительности бурения, производительности горного инструмента и оптимизации процесса в широком диапазоне условий шахты, повышения производительности и прибыльности при подземной разработке[2].

Производительность бурения, производительность горных инструментов и оптимизация процесса модернизации охватывает сверла для длинных отверстий серий Sandvik DL411, DL421 и DL431 и повышает производительность и прибыльность в нескольких областях:

1) Точный контроль давления подачи и подача, контролируемая вращением (моментное бурение), что приводит к лучшему восприятию состояния скважины, передачи энергии, скорости проникновения, срока службы горных инструментов и точности бурения, особенно в мягких породах и в скважинном бурении;

2) Система зум-датчика на сеялках серии DL431 - обеспечивает точное и быстрое позиционирование стрелы в точку поворота при бурении вентилятора, повышение производительности оператора, повышение точности бурения и снижение разрежения руды;

3) Использование силового экстрактора для отсоединения штанг при автоматизированном бурении - более простое и быстрое открытие соединений сокращает время без сверления, увеличивает мощность бурения и срок службы горного инструмента, а также снижает затраты на обслуживание бурильной машины;

4) Автоматические последовательности промывки в циклах сверления с заданными интервалами - обеспечение улучшенной стабильности отвер-

ствия, минимизированных прерываний, более высокой производительности бурения и увеличенного срока службы горных инструментов;

5) Независимый контроль ударного давления между бурением и ударным ударом - позволяет оптимизировать уровни давления для каждой функции в отдельности, для максимальной скорости проникновения, легкой отцепки стержней и увеличения срока службы инструмента;

6) Автоматический контроль давления в стабилизаторе бурильной установки - автоматическая регулировка давления освобождает оператора от ручной работы во время бурения вентилятора и повышает производительность оператора (доступно с бурильной машиной HL1560T на DL411 / DL421) [3].

Повышение производительности было выпущено для новых учений серии DL401 в январе. Комплекты послепродажного обслуживания для устройств, уже находящихся в поле, будут доступны одновременно.

По словам менеджера по продукту Sandvik Mining по производственным буровым сверлам подземного типа, Юкке Наапуре, автоматизация и интеллектуальность, внедренные в производственные сеялки серии DL401, помогут клиентам Sandvik достичь более стабильной производительности бурения скважин в широком диапазоне условий шахты, независимо от опыта оператора, и улучшенная оптимизация процесса благодаря лучшей точности бурения, лучшему извлечению руды и минимальному разбавлению руды.

«В то же время мы воспользовались возможностью, чтобы представить ряд функций, предназначенных для минимизации прерываний и задержек в процессе бурения, сокращения непроизводительного времени, помощи в доставке большего количества метров пробуренной породы за смену и дальнейшего повышения эффективности инструмента», сказал Наапуре.

«Кроме того, возможность более точного бурения с помощью вентилятора с новой системой зум-датчика на DL431 означает улучшенное извлечение руды, уменьшенное разбавление и меньшее количество валунов в обрабатываемых ограничителях».

Наапуре сказал, что производительность сеялок серии DL401 также была оптимизирована для автоматизированного и дистанционного дистанционного бурения, что позволяет одному оператору осуществлять дистанционное управление одной или несколькими машинами с полным вентилятором.

«Мы также предлагаем самый широкий в отрасли ассортимент буровых установок, предоставляя операторам шахт универсальные буровые установки, которые точно соответствуют производственным требованиям различных методов добычи, и все они построены в соответствии с высочайшими стандартами качества, обеспечивая надежные и долговечные буровые установки, способные обеспечить годы надежного производства» [4].

Сверла Sandvik серии DL401 представляют собой полностью механизированные и универсальные электрогидравлические сверла для длинных скважин, предназначенные для крупномасштабных подземных горных работ с поперечным сечением 4 x 4 м или более. Сверла серии DL401 устанавливаются на ходовые шасси с полноприводным каркасом и дизельным двигателем и оснащены гидравлическими перфораторами Sandvik HL710 или HL1560T, буровыми модулями, удлиненными стрелами и сертифицированными операторскими станциями FOPS / ROPS для максимальной производительности, безопасности, надежности и общей экономика бурения. Вращение стрелы на 360° и широкие углы поворота / наклона делают агрегаты пригодными для бурения длинных скважин в большинстве методов добычи и в различных применениях бурения[1].

Инструментарий и детализация данных с различными вариантами автоматизации обеспечивают максимальную производительность при высочайшем уровне точности бурения. Встроенная технология на основе CAN позволяет оператору настраивать устройство для любых условий горных пород, а также позволяет легко переходить на различные уровни автоматизации. Бурение и трамвайные операции выполняются с платформы оператора, сертифицированной ROPS / FOPS, а также доступно бурение с удаленного места рядом с машиной.

Все тренировки также включают высокий уровень безопасности и эргономичности оператора, в том числе эргономичные отсеки для оператора, с легким доступом и выходом, включая безопасные трехточечные контактные и противоскользкие поверхности, поручни и ступени в цвете высокой видимости, дополнительные огни для безопасный степпинг и омыватель багажника (на моделях кабины).

Большую часть ежедневного обслуживания можно выполнять с уровня земли, в то время как все основные компоненты имеют легкий доступ через крышки, которые можно быстро и легко открывать и закрывать, включая возможность легко открывать и закрывать крышки.

Гидравлический перфоратор используется для ударного бурения скважин 64-115 мм в диаметре. Sandvik HL 710 рассчитан на длительную работу на буровых установках для подземного бурения и для бурения станками с поверхности. Применение гидроперфоратора Sandvik HL710 позволяет сократить время проходки и значительно упрощает бурение твердых пород. Конструкция гидроперфоратора даёт возможность работать под любым углом. Sandvik HL710 представляет собой разборную модульную конструкции, и позволяет, при возникновении неисправности, заменить [запасную часть гидроперфоратора](#), без необходимости замены всего перфоратора. Перфоратор HL 710 может комплектоваться тремя типами гидродвигателей с различными показателями по скорости вращения и моменту[3].

## Список литературы

1. Воронов, Ю. Е. Совершенствование бурового оборудования разрезов / Ю. Е. Воронов. – Кемерово : Кузбас. гос. ун-т, 1998. – 192 с.
2. Буткин, В. Д. Опыт и развитие технологии силового бурения резанием на карьерах / В. Д. Буткин, А. В. Гилёв и [др.]. – М. : МАКС Пресс, 2005. – 313 с.
3. Improving drilling equipment for surface mining / V. Butkin, A. Gilev, V. Chesnokov [et fl.] // Russian Mining. – 2003. – № 6. – С. 40–44.
4. Специализированные долота для буровых работ в карьерах / В. Д. Буткин, А. В. Гилёв, В. Т. Чесноков [и др.] // Горный журнал. – 2004. – № 5. – С. 38–42.

УДК 622.232

## БУКСОВАНИЕ МОБИЛЬНЫХ ГОРНЫХ МАШИН И ИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

Казаченко Г.В., Басалай Г.А.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

*В настоящей работе рассматривается влияние буксования движителей горных машин на один из важнейших показателей их технического уровня – производительность. За основную причину буксования выбрано сопротивление перемещению машины. Предложена зависимость коэффициента буксования от ширины захвата. На основании этой зависимости обоснован процесс выбора оптимальной ширины захвата горной машины.*

**Ключевые слова:** Горная машина, производительность, коэффициент буксования, ширина захвата

## TOWING MOBILE MINING MACHINES AND THEIR PRODUCTIVITY

Kazachenko G., Basalai R.

*In this paper, we consider the effect of slipping of the engines of mining machines on one of the most important indicators of their technical level - productivity. For the main reason for slipping, the resistance to movement of the machine was chosen. The dependence of the slip coefficient on the working width was proposed. Based on this dependence, the process of choosing the optimal width of the mining machine is justified.*

**Keywords:** Mining machine, performance, slippage, working width

**Введение.** Большинство горных машин при выполнении операций технологических процессов одновременно сами перемещаются в пространстве. При этом сопротивление их перемещению чаще всего зависит от целого ряда факторов, среди которых важнейшими являются физико-механические свойства несущих оснований (почв горных выработок), параметры движителей машин, сопротивление их перемещению вследствие взаимодействия исполнительных органов с разрабатываемыми породами, а также ряд других сопротивлений. Влияние сопротивлений перемещению чаще всего выражается в потере скорости перемещения мобильных технологических машин и обусловленной этим производительности. Для различных мобильных технологических машин производительность может быть определена различными способами и выражена единицами различной размерности. Здесь воспользуемся выражением производительности через объем перерабатываемого материала

$$Q = \frac{dV}{dt}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (1)$$

где  $V$  – объем породы, перерабатываемой в единицу времени;  $t$  – время.

Так как объем  $V$  для мобильной технологической машины непосредственно связан со скоростью ее перемещения, то производительность напрямую зависит от этой скорости

$$V = S \cdot v, \quad (2)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения разрабатываемого слоя породы;  $v$  – действительная скорость перемещения машины.

Формула (2) используется также для определения производительности в единицах площади, обрабатываемой машиной за единицу времени. Тогда в формуле (2) величина  $S$  является шириной захвата исполнительного органа. В настоящей работе исследуется влияние некоторых факторов на эту скорость.

**Содержание исследования.** Действительная скорость передвижения мобильных технологических машин обычно выражается через их теоретическую скорость посредством выражения

$$v = v_t + v_n \quad (3)$$

где  $v_t$  – теоретическая скорость, т. е. скорость движения при отсутствии потерь;  $v_n$  – потери скорости по различным причинам, чаще всего из-за буксования движителя;  $\varepsilon_6 = v_n/v_t$  – коэффициент буксования.

На величину буксования движителей наибольшее влияние оказывает суммарная сила сопротивления движению мобильной машины. Существуют различные зависимости для определения коэффициента  $\varepsilon_6$ , а также результаты его определения опытным путем для различных машин, различных движителей в конкретных условиях движения. При сравнительно небольших по отношению к предельным силам сопротивления движению коэффициент  $\varepsilon_6$  принимают пропорциональным силе сопротивления движению [1, 2, 3]. Опыт показывает, что для мобильных тяговых машин существует некоторый оптимальный с точки зрения тягового коэффициента полезного действия машины коэффициент буксования. Для его нахождения выполнено много теоретических и экспериментальных исследований. Особенно много таких исследований проведено для сельскохозяйственных машин [2, 3, 4, 5]. Вместе с тем для мобильных технологических машин горного производства вопросы потери производительности по причине буксования движителей изучены недостаточно. Для сравнения таких потерь в первую очередь необходимо установить причины появления буксования и его взаимосвязь с факторами, указанными выше.

В работе [6] для определения величины коэффициента буксования предложена следующая зависимость

$$\varepsilon_6 = \frac{K_v \cdot \varphi_c}{K_v \cdot \varphi_c + \sqrt{1 - \varphi_c^2}} \quad (4)$$

где  $K_v$  – коэффициент пропорциональности между скоростью движения машины и скоростью поперечных деформаций несущего основания под движителем;  $\varphi_c$  – коэффициент запаса сцепления.

Коэффициент  $\varphi_c$  определяется как отношение силы трения между движителем и несущей поверхностью к предельной силе трения

$$\varphi_n = \frac{T}{f \cdot P_z} \quad (5)$$

где  $T = P_c$  – сила трения между несущим основанием и двигателем;  $P_c$  – суммарная сила сопротивления движению машины;  $f$  – коэффициент трения скольжения двигателя по несущей поверхности;  $P_z$  – нормальная к несущей поверхности нагрузка со стороны двигателя.

График зависимости  $\varepsilon_6$  от  $K_v$  и  $\varphi_c$  представлен на рис. 1.

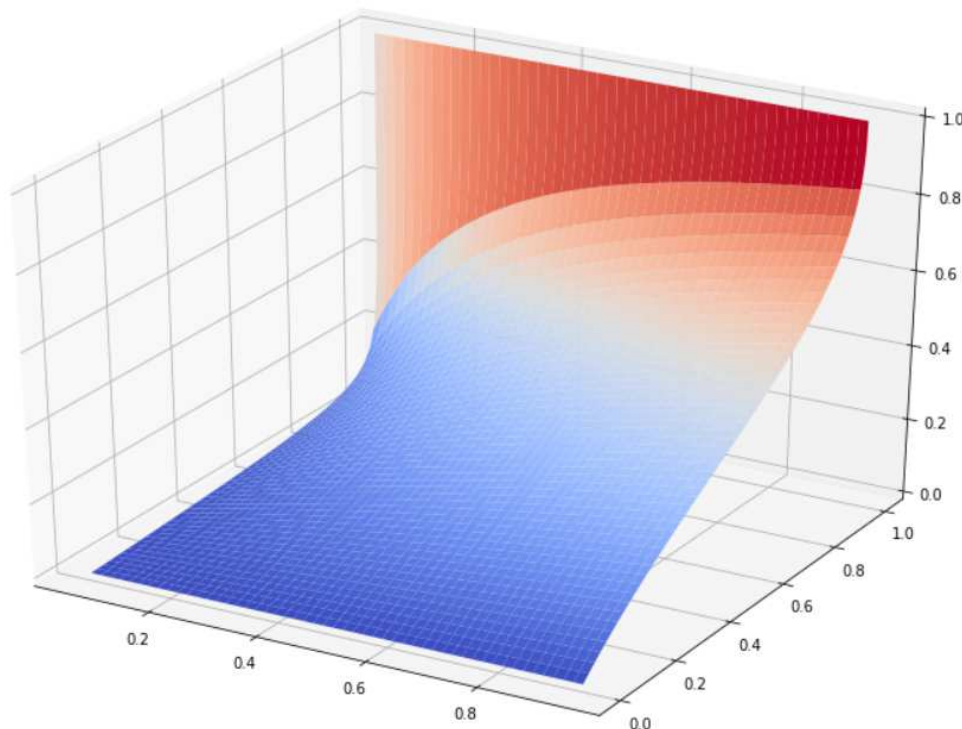


Рис. 1. Зависимость коэффициента  $\varepsilon_6$  буксования от  $K_v$  и  $\varphi_c$

Этот график указывает на то, что зависимость  $\varepsilon_6$  от  $K_v$  и  $\varphi_c$  на большей части положительной четверти плоскости  $O K_v \varphi_c$  линейна. Однако это не значит, что производительность также уменьшается по линейному закону при возрастании  $K_v$  и  $\varphi_c$ . Это связано в первую очередь с тем, что эти коэффициенты в свою очередь зависят от производительности. Например, для машин, производительность которых определяется величиной обработанной в единицу времени площади, сопротивление перемещению пропорционально ее массе и ширине захвата, что можно выразить соотношением

$$P_c = K_d \cdot m \cdot g + K_B \cdot B, \quad (6)$$

где  $P_c$  – сила сопротивления перемещению машины;  $K_d$  – коэффициент сопротивления перемещению самой машины;  $K_B$  – коэффициент пропорциональности между сопротивлением перемещению исполнительного органа и шириной захвата;  $B$  – ширина захвата исполнительного органа.

Рассматривая движение машины в горизонтальной плоскости можно записать

$$\varphi_c = \frac{K_d \cdot m \cdot g + K_6 \cdot B}{f \cdot m \cdot g} = \frac{K_d}{f} + \frac{K_6}{f \cdot m \cdot g} B; \quad (7)$$

$$\varepsilon_6 = \frac{K_v \left( \frac{K_d}{f} + \frac{K_6}{f \cdot m \cdot g} B \right)}{K_v \left( \frac{K_d}{f} + \frac{K_6}{f \cdot m \cdot g} B \right) + \sqrt{1 - \left( \frac{K_d}{f} + \frac{K_6}{f \cdot m \cdot g} B \right)^2}}; \quad (8)$$

$$Q = B \cdot v_T (1 - \varepsilon_6) = B \cdot v_T \left( \frac{\sqrt{1 - \left( \frac{K_d}{f} + \frac{K_6}{f \cdot m \cdot g} B \right)^2}}{K_v \left( \frac{K_d}{f} + \frac{K_6}{f \cdot m \cdot g} B \right) + \sqrt{1 - \left( \frac{K_d}{f} + \frac{K_6}{f \cdot m \cdot g} B \right)^2}} \right). \quad (9)$$

Это соотношение позволяет определить производительность таких мобильных технологических машин, сопротивление движению которых линейно зависит от их массы и ширины захвата. При этом необходимо учитывать и ряд других условий, накладываемых на выполнение технологических операций.

Соотношение (9) позволяет также находить некоторые оптимальные параметры конструкции машин и режимов их работы. Например, можно выбрать такие  $B$  и  $v_T$ , которые обеспечат максимальное значение производительности  $Q$ . Эти параметры можно найти решением системы уравнений

$$\left. \begin{aligned} \frac{dQ}{dB} &= 0 \\ \frac{dQ}{dv_T} &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (10)$$

Это можно сделать и путем решения первого уравнения, задавшись теоретической скоростью движения из требований безопасности или других условий. Сказанное иллюстрируется на рис. 2.

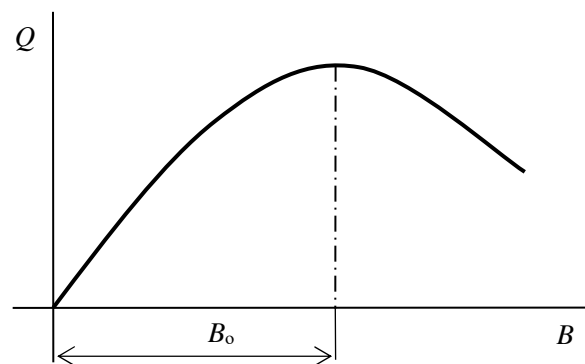


Рис. 2. Оптимальное значение ширины захвата технологической машины



Как уравнения (10), так и график на рис. 2 дают возможности решать и другие задачи, возникающие при проектировании и эксплуатации мобильных технологических машин.

### **Заключение**

Предложенные зависимости позволяют сформировать несколько задач оптимизации, позволяющих принять обоснованные технические решения при проектировании и эксплуатации горных машин. К таким задачам относятся: – выбор параметров эксплуатации таким образом, чтобы обеспечить необходимую производительность при наименьших затратах мощности; – выбор параметров конструкции машины требуемой производительности, обеспечивающих необходимую надежность работы; такая же задача возникает при обеспечении требуемой долговечности.

Естественно, что формулирование подобных задач, определение условий их решения, построения математических моделей и способов их решения требует отдельных специальных исследований.

### **Список литературы:**

1. Опейко, Ф.А. Колесный и гусеничный ход / Ф.А. Опейко. – Минск: Издательство Акад. с.-х. наук БССР, 1960. – 228 с.
2. Гуськов, В.В. Тракторы / В.В. Гуськов. – Минск : Вышэйшая школа. – 1979. – 374 с.
3. Забавников, Н.А. Основы теории транспортных гусеничных машин / Н.А. Забавников. – М. : Машиностроение, 1975. – 448 с.
4. Орда, А.Н. Закономерности деформирования почвогрунтов / А.Н. Орда, С.В. Алешкевич // Проблемы технологии и механизации разработки месторождений полезных ископаемых. – Минск : БНТУ, 2009. – С. 35-39.
5. Казаченко, Г.В. Опорно-ходовые устройства горных машин / Г.В. Казаченко, Г.А. Басалай, Е.В. Щерба. – Минск : Энергопринт, 2016. – 207 с.
6. 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.

УДК 622.236

## ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ГИДРОМОЛОТА МГК-1 ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЕГО ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Митусов А.А.<sup>1</sup>, проф., Лагунова Ю.А.<sup>2</sup>, проф., Решетникова О.С.<sup>3</sup>, ст. преп.

<sup>1</sup>Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова, г.Барнаул

<sup>2</sup>Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

<sup>3</sup>Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, Казахстан

*Статья посвящена исследованию возможности изменения эксплуатационных характеристик гидромолота МГК-1 (молот гидравлический «Караганда») приемами настройки и регулирования с целью создания единой конструкции с параметрами, обеспечивающими изменения величины энергии удара в диапазоне 1500...3000Дж. На основе систематизации и анализа выходных параметров существующих конструкций гидромолотов проведен численный эксперимент, который позволил определить зависимости и диапазон изменения энергетических характеристик при изменении настроечных параметров.*

**Ключевые слова:** импульсный гидропривод, гидромолот, ударный гидродвигатель, рабочий объем, энергия удара, частота ударов

## CHOICE OF THE MGK-1 HYDRAULIC HAMMER PARAMETERS FOR REGULATING OUTPUT CHARACTERISTICS

Mitusov A.A., Lagunova Yu.A., Reshetnikova O.S.

*The article is devoted to the study of the possibility of changing the operational characteristics of the MGK-1 hydraulic hammer (hydraulic hammer "Karaganda") with tuning and regulation methods with the aim of designing a unified construction with parameters that provide changes in the impact energy in the range of 1500 ... 3000J. Based on the systematization and analysis of the output parameters of the existing hydraulic hammer constructions, a numerical experiment was carried out, which made it possible to determine the dependences and the range of changes in energy characteristics when varying the tuning parameters.*

**Keywords:** pulsed hydraulic drive, hydraulic hammer, impact hydraulic engine, displacement, impact energy, impact frequency

Преимуществом режимных исследований имитационных моделей (машинные исследования) перед испытаниями физических моделей является практически неограниченная возможность варьирования потоковыми и конструктивными параметрами. Для физической модели количество варьируемых параметров ограничивается специально предусмотренными при конструировании узлов управления. Таким образом, для разработки технического задания на эти узлы необходимо проведение энергетического и конструктивного анализа, а также машинных исследований режимов работы гидромолота.

Современное состояние используемых в горной промышленности гидромолотов характеризуется большим количеством параметрически различающихся конструкций. Это обстоятельство обуславливает при решении проблем импортозамещения естественную целесообразность создания конструкций с расширенным диапазоном выходных характеристик.

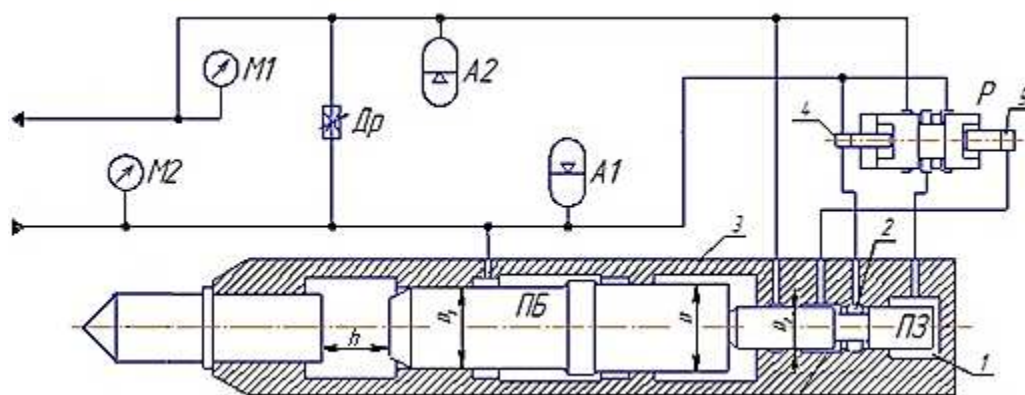
Обобщенным конструктивным параметром гидромолота является его рабочий объем  $q$ , величина которого зависит от площадей передней и задней камер УГЦ, определяющихся диаметрами  $D$ ,  $D1$  и  $D2$ , а также от вели-

чины хода бойка  $h$ . Анализ параметров конструктивной схемы (рисунок 1) показывает, что оперативно в процессе работы гидромолота возможно изменение только хода бойка  $h$ , а диаметры  $D$ ,  $D1$  и  $D2$  могут изменяться только при ремонте гидромолота в процессе его настройки. Настраиваемым также является давление питания  $P_d$ , однако этот параметр наиболее легко изменяется в оперативной ситуации.

Состояние характеристик определяется значениями энергии и частоты ударов  $A$  и  $n$ , а также коэффициента настройки  $K_n$ , характеризующего их взаимосвязь и выражающегося через обобщенные конструктивные параметры:  $q$  – рабочий объем и  $Ru$  – инерционное сопротивление ударного гидродвигателя (УГД) [1]:

$$K_n = Ru(x) \cdot q^3 .$$

Как видно из различных источников [2-5], на сходственные технологические назначения различные фирмы выпускают гидромолоты с различающимися выходными характеристиками, что обусловлено отсутствием регламентирующих стандартов. Тем не менее, целесообразно для решения проблемы при анализе существующих конструкций ввести условную параметрическую систематизацию импульсного гидропривода (ИГП), используя имеющуюся в технической практике тенденцию подразделения на 3 условных группы по величине энергии удара на тяжелые, средние и легкие с дополнительным делением их на параметрические категории.



А1, А2 – аккумуляторы; Р – распределитель; ПБ – поршень-боек; ПЗ – поршень-золотник; М1, М2 – манометры; Др – дроссель; 1,2 – камеры управления; 3 – корпус; 4,5 – камеры управления плунжерами распределителя

Рисунок 1 – Конструктивная схема гидромолота МГК-1

Ориентировочное параметрическое подразделение существующих конструкций представлено в таблице 1. Здесь каждая категория объединяет параметры УГД определенного технологического назначения и характеризуется присущим ей диапазоном значений коэффициента настройки  $K_n$ . Это обуславливает единственную возможность перевода конкретной конструкции УГД из категории в категорию изменением параметров ее структуры. Таким образом, в качестве основной идеи обеспечения расширенного диапазона выходных характеристик импульсного гидропривода в пределах одной параметрической категории или перехода в следующую

шую предполагается использовать принцип сочетания, отмеченный в работе [1] возможностей параметрической перестройки структуры ИГП с регулированием параметров питания УГД.

Таблица 1 - Ориентировочное параметрическое подразделение существующих конструкций гидромолотов

Параметры	Группы						
	Тяжелые		Средние			Легкие	
	Категории						
	1	2	1	2	3	1	2
А,кДж	> 10	3...10	0.8...3	0.3...0.8	1.5...2.5	0.06...0.12	0.1...0.5
п,Гц	0.2...2	2...8	3...20	15...25	30...40	20...30	50...100
Ну,кВт	10...30	5...50	15...30	7.5...12	60...75	1.8...3.6	5...30
Кн,Дж·с <sup>2</sup>	> 1000	250...2500	2...100	0.5...3.5	0.9...2.8	0.065...0.3	0.01...0.2

С целью проверки этой возможности проведен машинный эксперимент с использованием программы «Research» по изучению изменений энергетических характеристик гидромолотов КарГТУ с различными параметрами и схемами УГД.

Таблица 2 - Настроечные характеристики гидромолотов

Гидромолоты	P <sub>0</sub> МПа	Настройка				Выходные параметры		
		Парам.	Значен.	K <sub>н</sub>		А кДж	п, Гц	КПД двигателя
УГДС-03	16	Pa, МПа m, кг	1,27-2,8 83-199	0,1-0,45 3,1-0,37		1,6-2,8 2,7-2,9	4,2-2,6 0,9-2,6	0,45-0,69 0,38-0,7
ГМБ2Р	15	n, Гц j D2, мм	2-16 0,8-2 47,4- 61	28-87 72-36 71-44	кДж/с <sup>2</sup>	7-0,34 2- 0,97	2-16 6	0,77-0,81 0,73-0,72
		Рд, МПа	5-20	8,3-138		0,23-3,9	6	0,79-0,8
М478	15	h', мм	60-144	10,6-61	Дж*с <sup>2</sup>	1,1-2,3	10-6	0,64-0,5
		Рд, МПа	5-20	44-42		0,6	3,7-7,7	0,52-0,57
МГП-1	15	D2, мм	40-51	8-15		0,4-1,2	8,8-9,6	0,34-0,7
		h', мм	45-108	3,4-30		0,64-1,5	13,8-7,4	0,65-0,69
		l <sub>T</sub> , м	2,5-20	9,8-143		1-1,2	10,2-3	0,56-0,77
ГП-2500	20	Рд, МПа	5-20	13,4-12,7		0,4-1,6	5,2-11	0,67-0,69
		D2, мм	100-128	3-3,75		2,3-2,6	26-28	0,55-0,38
		h', мм	19-45,6	1,2-7		1,7-3,2	38-21	0,67-0,54
		Рд, МПа	4-24	3,03		0,44-3	12-31	0,55-0,61

Результаты эксперимента представлены в таблице 2, содержание которой позволяет судить о тенденциях и диапазонах изменения энергетических характеристик при изменении настроечных параметров, выбранных соответственно реальным возможностям схем и конструкций гидромолотов.

Анализ конструктивных решений известных молотов показывает, что изменения конструктивных параметров: массы бойка m, соотношения фазовых сил j, диаметра задней ступени ведомого звена d2, хода бойка в фазе

возврата  $h'$  требуют сменных элементов конструкций [1,2]. Давление аккумулятора  $P_a$  обеспечивается перезарядкой аккумулятора; давление питания  $P_d$  - обеспечивается настройкой переливного клапана или расхода питания;  $I_t$  – обеспечивает изменение сопротивления сливного трубопровода  $R_t$ , что может в эксплуатационных условиях достигаться не только его удлинением, но и введением в линию дроссельных элементов.

Анализ таблицы 2 позволяет констатировать следующее:

- на изменение энерго-частотной характеристики наиболее эффективно влияют изменения параметров  $m$ ,  $h'$ ,  $P_a$ ,  $n$ ,  $R_t$ , из которых в эксплуатационных условиях наиболее приемлемы  $h'$ ,  $P_a$  и  $n$ ;

- изменение энергии ударов  $A$  наиболее эффективно достигается изменениями  $h'$ ,  $P_d$  и  $P_a$ , а изменение частоты  $n$  изменением  $m$ ,  $h'$ ,  $P_d$ ,  $P_a$ ,  $R_t$ ;

- в эксплуатационных условиях наиболее приемлемыми параметрами настройки являются: сопротивление трубопровода  $R_t$ ; частота ударов  $n$  – для импульсной САУ ИГП; давление зарядки аккумулятора  $P_a$  - для релейной САУ ИГП со схемами, включающими автономный аккумулятор; ход в фазе возврата  $h'$  – при соответствующих конструктивных обеспечениях системы управления;  $P_d$  – давление питания гидромолота.

Таким образом, применительно к молоту МГК-1 регулируемыми параметрами целесообразно принять давление питания  $P_d$  и ход бойка  $h$ . С этой целью при конструировании следует предусмотреть соответствующие решения, обеспечивающие оперативные изменения этих параметров.

### Список литературы

1. Митусов А.А. Двухтактные гидродвигатели ударного действия: Основы теории и расчет. Монография. –СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. –392 с.
2. Ушаков Л.С. Гидравлические ударные механизмы: опыт расчета и проектирования. Germany: Palmarium Academic Publishing, 2013. - 280 с.
3. Митусов А.А., Решетникова О.С. Анализ параметров и конструкций современных гидромолотов // Труды университета. – Караганда: КарГТУ, 2015.- №1.–С.32-35.
4. Дмитриевич Ю.В. Развитие гидромолотов в России. Гидромолоты среднего класса (Ч. 2): // Электрон. журн. «Основные средства». 2010. №8. URL: <http://www.os1.ru/article/4566-razvitie-gidromolotov-v-rossii-gidromoloty-srednego-klassa>. (Дата обращения: 15.06.2017).
5. <https://www.tradicia-k.ru/catalog/gidromolot/> (Дата обращения: 15.12.2019).

УДК 622.258

## ОБЗОР МОДЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ШАХТНОЙ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ

Нусс С.В.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь

*В статье рассмотрен один из вариантов организации диагностики технического состояния шахтной подъемной установки на базе методов выявления аномальных явлений. Приведено описание основных методов.*

**Ключевые слова:** шахтные подъемные установки, диагностика, аномалии временного ряда.

## PRELIMINARY DIAGNOSTICS OF TECHNICAL CONDITION OF SHAFT LIFTING UNITS

Nuss S.V.

*The article discusses one of the options for organizing diagnostics of the technical condition of a mine hoist based on methods for detecting abnormal phenomena. The description of the main methods is given.*

**Keywords:** mine lifting installations, diagnostics, time series anomalies.

Шахтная подъемная установка представляется собой достаточно сложную техническую систему. Цена отказов в работе шахтной подъемной установки – снижение безопасности персонала подземного комплекса шахты, снижение производительности предприятия в целом.

В настоящее время основным направлением повышения уровня безопасности и эффективности объектов горнодобывающих предприятий является совершенствование систем мониторинга, централизованных систем принятия решений, экспертных систем. Совершенствование применяемых в них методов прогнозирования и выявления аварийных режимов позволяет повысить надежность объекта контроля в целом [1].

Наиболее перспективным направлением оценки технического состояния технических систем является идентификация дефектов на ранней стадии их развития в режиме реального времени. Эти методы уже описаны, достаточно проработаны, положительно зарекомендовали себя на практике [2,3]. Методы предполагают периодическое применение специального оборудования для целенаправленного поиска нарушений в узлах и агрегатах установок. Однако существующий уровень автоматизации позволяет получать информацию о параметрах любой технологической установки в режиме реального времени. Становится возможным осуществлять поиск признаков возникновения дефектов на основе временных рядов с датчиков контроля систем автоматизации. Появляется задача алгоритмического поиска признаков зарождающихся дефектов на базе измерений с действующих на технологических установках систем автоматизации.

Один из вариантов решения – введение в систему автоматизации функции элементарной диагностики объекта в реальном времени на основе выделения аномальных признаков из генеральной совокупности поступа-

ющих данных (рисунок 1). Указанная функция не реализует диагностику в полном объеме. Она не позволяет установить место дефекта и его характер, но в составе соответствующей экспертной системы, имея признаки возникновения дефекта можно выделить полную информацию.

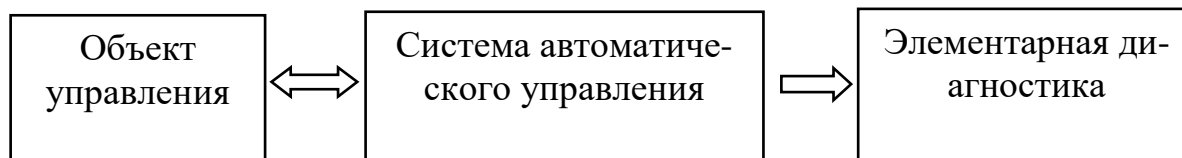


Рис. 1. Структурная схема системы автоматического управления с функцией элементарной диагностики

Задачи поиска аномалий в числовых рядах получили широкое распространение в экономике, медицине и др. областях. Например, для экономики высокое значение имеет появление признаков смены трендов биржевых индексов MOEX, Dow Jones, в медицине – поиск аномалий (отклонений) в кардиограмме пациента.

Рассмотрим далее в статье некоторые математические методы поиска аномалий во временных рядах.

Для решения задачи поиска аномалии во временном в настоящее время широко применяются следующие методы.

**1. Статические методы.** В основе данного подхода – корреляционный анализ. Корреляционный анализ позволяет установить наличие или отсутствие взаимосвязи между двумя наборами данных. При использовании корреляционного анализ индикатором наличия аномалии является изменения значения величины корреляционной связи между «идеальным» временным рядом и реальным.

Другим вариантом поиска аномалий при таком подходе – поиск выбросов, как метрики стандартного и среднего отклонения. Листинг решения такой задачи на примере массива случайных чисел на языке Python приведен ниже.

```
from numpy.random import seed
from numpy.random import randn
from numpy import mean
from numpy import std
seed(1)
data = 5 * randn(10000) + 50
data_mean, data_std = mean(data), std(data)
cut_off = data_std * 3
lower, upper = data_mean - cut_off, data_mean + cut_off
outliers = [x for x in data if x < lower or x > upper]
print('Identified outliers: %d' % len(outliers))
```

**2. Кластеризация.** Метод представляет собой разбиение значений множества временного ряда на группы – кластеры. Внутри каждой группы

содержатся схожие объекты. Основное отличие от классификации – перечень кластеров и признаки разделения по кластерам неизвестны. В результате применения методы кластеры с малым числом данных будут содержать аномальные значения. Ниже приведен листинг решения задачи кластеризации на языке Python с применением метода k-средних.

```
from sklearn import datasets
from sklearn.manifold import TSNE
import matplotlib.pyplot as plt
iris_df = datasets.load_iris()
model = TSNE(learning_rate=100)
transformed = model.fit_transform(iris_df.data)
x_axis = transformed[:, 0]
y_axis = transformed[:, 1]
plt.scatter(x_axis, y_axis, c=iris_df.target)
plt.show()
```

Методы кластеризации достаточно хорошо зарекомендовали себя при поиске выраженных, «устойчивых» аномалий, что делает их особенно ценными при решении задачи поиска дефектов в технических системах. Каждый из представленных выше методов поиска аномалий возможно принять в качестве математической модели алгоритма элементарной диагностики. Однако для применения методов на реальных временных рядах значений параметров шахтной подъемной установки необходимо выполнить апробацию каждого метода с целью определения его ограничений и эффективности на реальных данных.

### **Список литературы**

1. Непрерывный динамический контроль жесткой армировки вертикальных шахтных стволов. Трифанов Г.Д., Микрюков А.Ю. Горное оборудование и электромеханика. 2013. № 11. С. 6-10.
2. Влияние диаграммы скорости на динамические нагрузки в системе «подъемный сосуд – жесткая армировка» и деформацию рамы подъемного сосуда. Воробель С.В., Трифанов Г.Д. Горное оборудование и электромеханика. 2011. № 12. С. 16-19.
3. Современные системы безопасности при эксплуатации действующих шахтных подъемных установок. Трифанов Г.Д., Князев А.А., Трифанов М.Г., Стрелков М.А. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2011. Т. 10. № 1. С. 173-188.



УДК 622.23.05

## РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МНОГОСЕКЦИОННЫХ ТРАЛОВ ДЛЯ ДОБЫЧИ ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ КОНКРЕЦИЙ

М.Г. Рахутин<sup>1</sup>, профессор, А.С. Каширский<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>НИТУ «МИСиС», <sup>2</sup>Министерство промышленности и торговли  
Российской Федерации, г. Москва

*Предложена математическая модель эксплуатационной производительности тралов при добыче железомарганцевых конкреций со дна Мирового океана. На примере предложенного ранее кассетного трала проведен анализ влияния основных факторов на величину эксплуатационной производительности.*

**Ключевые слова:** трал, полезные ископаемые, Мировой океан, железомарганцевые конкреции, эксплуатационная производительность.

## CALCULATION OF PRODUCTIVITY OF MULTI-SECTION TRAWLS FOR EXTRACTION OF FERROMANGANESE NODULES

Rakhutin M. G., Kashirsky A. S.

*A mathematical model of the operational productivity of trawls for the extraction of ferromanganese nodules from the bottom of the World Ocean is proposed. On the example of the previously proposed cassette trawl, the analysis of the influence of the main factors on the value of operational productivity is carried out.*

**Keywords:** trawl, minerals, World Ocean, ferromanganese nodules, operational productivity.

Месторождения дна Мирового океана являются весьма перспективным источником полезных ископаемых и содержат практически весь их спектр в объемах, которые по многим полезным компонентам значительно превышают запасы континентальной суши [1].

Наиболее изучены конкреции Тихого океана из рудной провинции Кларион-Клиппертон. Глубоководные железомарганцевые конкреции (ЖМК) представляют собой, в основном, округлые стяжения черного и буровато-черного цвета с шероховатой поверхностью. Средний их размер составляет 3-8 см, хотя встречаются экземпляры диаметром до 20 см и более [2].

На наш взгляд, основным требованием к оборудованию для промышленной глубоководной добычи является его простота и надежность. Перспективным на наш взгляд является направление использования высокопроизводительных тралов для сбора ЖМК. Предложена конструкция кассетного трала. Подана заявка на конструкцию многосекционного трала, ведутся разработки в области дальнейшего совершенствования их конструкций.

Для удобства анализа процесса добычи и повышения точности прогноза производительности комплекса (судно, буксир, многосекционный трал) предложена модель и расчетная формула эксплуатационной (фактической)  $W_{э}$  производительности.

В этой статье модель эксплуатационной производительности рассмотрена на примере кассетного трала [3,4] представленного на рис. 1. Прин-

цип работы трала основан на всплытие за счет сжатого воздуха сетчатых емкостей после их заполнения ЖМК без подъема основного трала. Емкости, в количестве 12 штук находятся в специальной cassette.

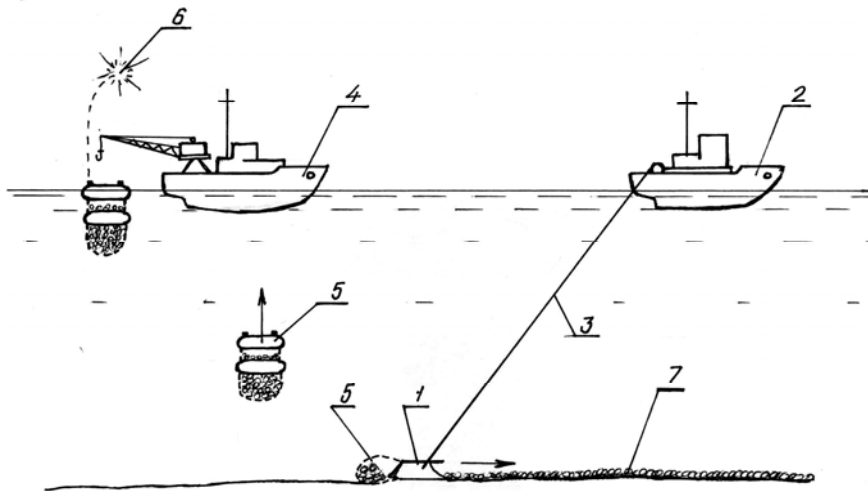


Рис. 1. Принципиальная схема разработки месторождений ЖМК кассетным тралом: 1 – кассетный трал (ковш-черпак), 2 - буксирное судно, 3 - буксирный трос, 4 - судно-сборщик, 5 - всплывающие сетчатые емкости, 6 - сигнальное устройство, 7 - залежь конкреций

При разработке модели и расчетах на ее основе предложено учитывать следующие факторы:

- ширина захвата трала (заходки)  $A_3$ , м;
- плотность залегания конкреций  $q_{зал}$ , т/м<sup>2</sup>;
- скорость движения (буксировки) трала  $v$ , м/мин;
- глубину залегания конкреций  $H$ , м;
- скорость подъема и спуска трала  $V_{сп}$ , м/мин, для упрощения модели скорость подъема и спуска принимаем равными друг другу;
- полнота сбора конкреций  $K_p$ , - предлагается учитывать коэффициентом, имеющим диапазон от 0 до 1, при отсутствии потерь при сборе ЖМК предлагаемый коэффициент принимает значение «1»;
- разубоживания конкреций налипшими илами  $\eta$ , предлагается определять с использованием выражения:  $\eta = 0.01 \times (100 - P\%)$ , где  $P\%$  - процент разубоживания конкреций налипшими илами;
- метеорологические условия  $K_m$ , предлагается учитывать с использованием коэффициента, определяемого соотношением количества благоприятных для добычи дней к их общему количеству;
- надежность комплекса  $T_{уо}$ , мин/цикл, предлагается учитывать через среднюю продолжительность устранения отказов (времени восстановления) за один цикл;
- уровень организации работ  $T_{оп}$ , мин/цикл, предлагается учитывать через продолжительность простоев по организационным причинам за один

цикл, например, отсутствие возможности разгружать всплывающие емкости.

Так как в примере рассматривается кассетный трал, то также необходимо учитывать следующие факторы:

- продолжительность подготовки кассетного трала на судне к работе (загрузки)  $T_p$ , мин;
- грузоподъемность емкости  $Q$ , т;
- количество сетчатых емкостей в кассете  $n$ ;
- продолжительность отделения заполненной сетки и подготовка следующей к работе  $T_o$ , мин;

С использованием вышеприведенных факторов выражение для определения величины эксплуатационной (фактической) производительности принимает вид:

$$W_{\text{Э}} = A_3 \cdot v \cdot q_{\text{ЗАЛ}} \cdot Kn \cdot \eta \cdot K_M \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Q \cdot \eta}{A_3 \cdot q_{\text{ЗАЛ}} \cdot v \cdot Kn}}{\sum_{i=1}^n \frac{Q \cdot \eta}{A_3 \cdot q_{\text{ЗАЛ}} \cdot v \cdot Kn} + \frac{2H}{Vcn} + \sum_{i=1}^{n-1} T_o + T_n + T_{yo} + T_{on}} \quad \text{т/мин}$$

Анализ полученного выражения позволяет прийти к выводу, что наиболее значимыми факторами, определяющими производительность, являются глубина, скорость подъема и опускания трала. С увеличением глубины производительность уменьшается по квадратичной зависимости. При этом установлено, что ширина захвата трала, скорость траления, плотность залегания конкреций не оказывают существенного влияния на производительность кассетного трала.

Применение многосекционных тралов, в частности, кассетного трала перспективно и позволит получить относительно высокую производительность.

### Список литературы

1. Андреев С.И. (ред.) Минеральные ресурсы Мирового океана: концепция изучения и освоения (на период до 2020 г.). СПб.:ВНИИ Океангеология; 2007.
2. Безруков П.Л. (ред.) Железомарганцевые конкреции Тихого океана. М.: Недра; 1976.
3. Кириченко Ю.В., Каширский А.С. и др. Способ добычи железомарганцевых конкреций из илистых донных отложений и устройство для его осуществления. Патент РФ на изобретение № 2562304 от 11.08.2015
4. Каширский А.С., Рахутин М.Г., Кириченко Ю.В., Кузин Е.А. Перспективы использования новой конструкции трала для разработки полезных ископаемых мирового океана. Горная промышленность. 2019; (6) :123–127

УКД 621.879:622.271

## АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ГУСЕНИЧНОГО ТРАКА КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА ОТ УГЛА УКЛОНА

Симба Наваррете Владимир, аспирант (Эквадор)

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва

*Проведены статические исследования и определены показания прочностных характеристик нагруженной трехмерной модели гусеничного трака при различных углах уклона в автоматизированной программе «SolidWorks»; установлено, что при увеличении угла уклона значения статического напряжения и перемещения в гусеничном траке увеличиваются прямо пропорционально, при этом значение коэффициента прочности уменьшается по квадратичной зависимости.*

**Ключевые слова:** экскаватор, ходовое оборудование, гусеничный трак, износ, деформация, Solid Works simulation, напряжения, запас прочности, угол уклона.

## ANALYSIS OF THE DEPENDENCE OF THE STRESSED STATE OF THE TRACKED TRACK OF A CAREER EXCAVATOR FROM AN ANGLE SLOPE

Wladimir Simba Navarrete

*Performed static studies and determined the strength characteristics of the loaded three-dimensional model of the caterpillar track at various slope angles in the automated program "SolidWorks"; it was found that with an increase in the slope angle, the values of static voltage and displacements in the caterpillar track increase in direct proportion, while the value of the strength coefficient decreases in quadratic dependence.*

**Keywords:** excavator, undercarriage equipment, crawler shoe, wear, deformation, SolidWorks simulation, stress, strength factor, angle of an incline.

Карьерные экскаваторы с различной грузоподъемностью являются основным добычным оборудованием на карьерах при разработке практически всех видов полезных ископаемых [1].

Опыт интенсивной эксплуатации карьерных экскаваторов в различных горно-геологических условиях выявил проблему – быстрый износ гусеничного трака [2].

Анализ напряженного состояния гусеничного трака карьерных экскаваторов в зависимости от угла уклона позволит выбирать их оптимальную форму и прогнозировать ресурс

Для анализа использовалось моделирование в программе «SolidWorks» [3].

В начале по имеющимся чертежам гусеничного хода карьерного экскаватора Р&Н 4100-ХРС [4] был выбран участок, состоящий из трех гусеничных траков и одного опорного катка, где средний гусеничный трак контактирует по поверхности беговой дорожки с опорным катком и по нижним основаниям траков – с ровной поверхностью. Далее была построена его трехмерная модель (рис. 1).

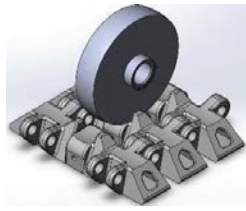


Рис.1. Исследуемая трехмерная модель выбранного участка гусеничного хода в «SolidWorks».

С использованием приложения «SolidWorks simulation» был выполнен статический анализ исследуемой трехмерной модели при различных углах уклона  $\alpha$  (рис. 2).

Исходя из параметров рассматриваемого экскаватора, было рассчитано, что на опорный каток действует нагрузка, равная 830 кН [5], которая является частью всего веса экскаватора.

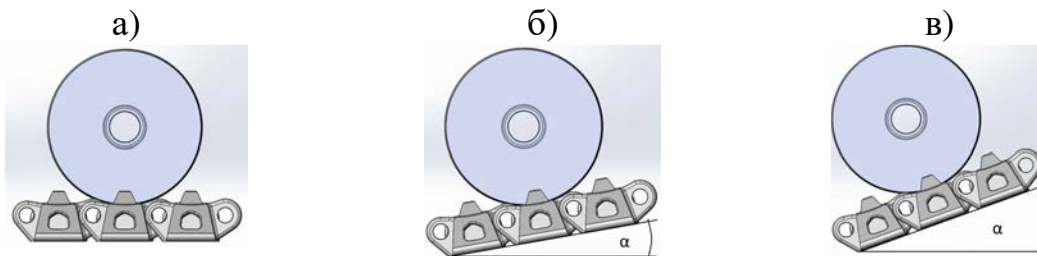


Рис. 2. Трехмерная модель выбранного участка гусеничного хода при различных углах уклона  $\alpha$ : а)  $\alpha = 0^\circ$ ; б)  $\alpha = 10^\circ$ ; в)  $\alpha = 20^\circ$ .

В результате моделирования определены прочностные характеристики нагруженной модели в виде эпюр: статического напряжения (рис.3), статического перемещения (рис.4) и распределения коэффициента запаса прочности (рис. 5). Численные значения представлены в таблице 1, а также представлены графики зависимости всех полученных характеристик от заданных углов уклона (рис. 6,7,8)

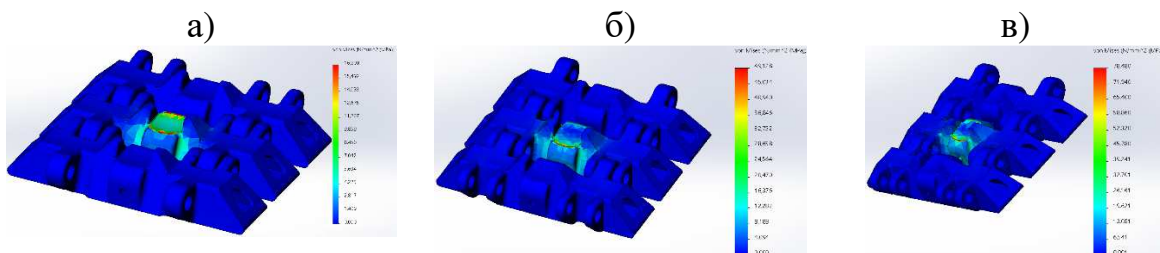


Рис. 3. Эпюры статического напряжения по конструкции исследуемой трехмерной модели при углах наклона: а)  $\alpha = 0^\circ$ ; б)  $\alpha = 10^\circ$ ; в)  $\alpha = 20^\circ$ .

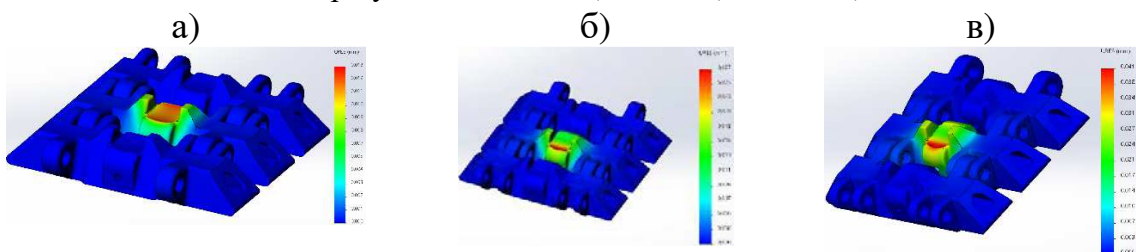


Рис. 4. Эпюры статического перемещения по конструкции исследуемой трехмерной модели при углах наклона: а)  $\alpha = 0^\circ$ ; б)  $\alpha = 10^\circ$ ; в)  $\alpha = 20^\circ$ .

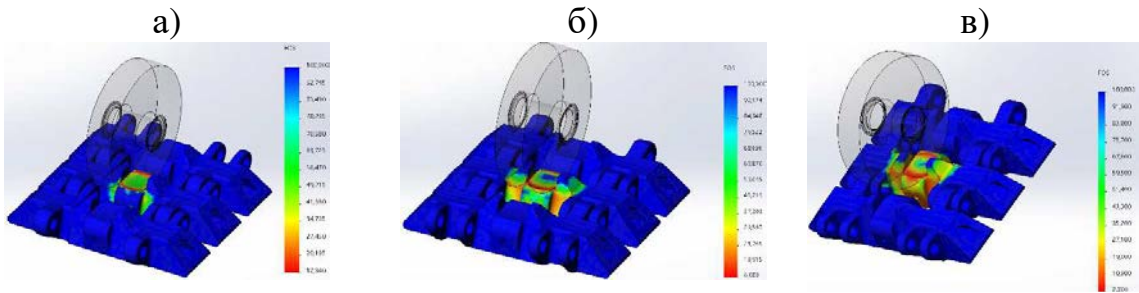


Рис. 5. Эпюры распределения коэффициента запаса прочности по конструкции исследуемой трехмерной модели при углах наклона: а)  $\alpha = 0^\circ$ ; б)  $\alpha = 10^\circ$ ; в)  $\alpha = 20^\circ$ .

Таб. 1. Результаты статического исследования

№	Уклон, $\alpha$ , град	Макс. Напряжение, $\sigma_{\max}$ , МПа	Макс. Перемещение, $l_{\max}$ , мм	Коэффициент запаса прочности, k
1	0	16,85	0,013	12,94
2	10	49,1	0,027	7,18
3	20	78,48	0,041	2,5

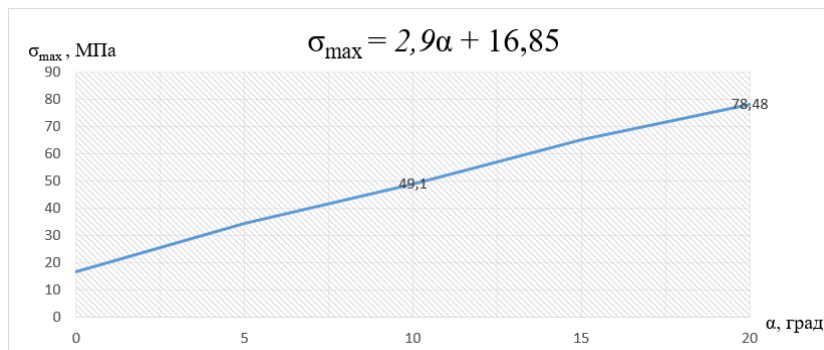


Рис. 6. График зависимости максимальных полученных значений статического напряжения от угла уклона.

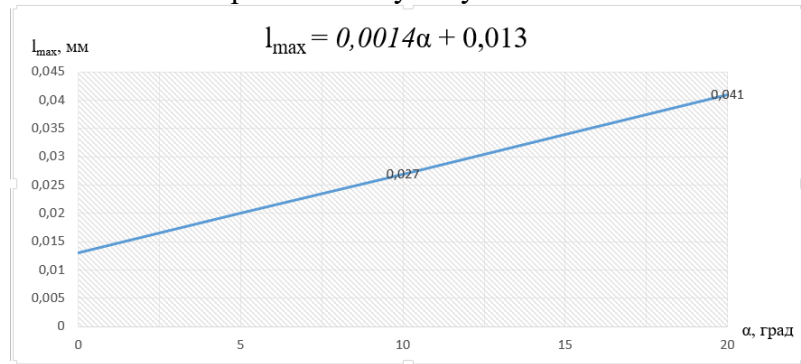


Рис. 7. График зависимости максимальных полученных значений статического перемещения от угла уклона.

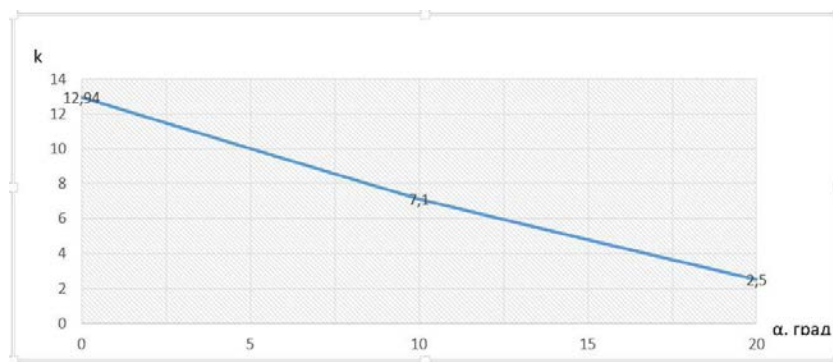


Рис. 8. График зависимости полученных значений коэффициента запаса прочности от угла уклона.

На рис.6, рис.7 и рис.8 прослеживается линейная зависимость прочностных характеристик нагруженной конструкции гусеничного трака от угла уклона. На рис.6. и рис.7 представлена прямо пропорциональная, а на рис.8 – квадратичная зависимость.

**Вывод:**

При увеличении угла уклона значения статического напряжения и перемещения в гусеничном траке увеличиваются прямо пропорционально, при этом значение коэффициента прочности уменьшается по квадратичной зависимости.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Квагинидзе В.С., Антонов Ю.А., Корецкий В.Б., Чупейкина Н.Н. Экскаваторы на карьерах. Конструкции, эксплуатация, расчет: Учебное пособие. — М.: Издательство «Горная книга». — 2011. — 409 с.
2. Пат. RU2646712. Траки гусеничной цепи карьерного экскаватора / И.А. Орлов, заявитель и патентообладатель ООО «ИЗ-КАРТЭКС». – № 2016126604; заявл. 01.07.2016; опубл. 06.03.2018. – 9с.
3. Прохоренко В.П. SolidWorks. Практическое руководство. М.: ООО «БиномПресс», 2004. 448 с.
4. P&N Mining Equipment, Inc. Operator Manual 4100-ХРС. 2014. – 393с.
5. Дмитриенко В.Г., Шеметов Е.Г., Симба Н.В. Определение коэффициента запаса прочности гусеничного трака карьерного экскаватора 4100-ХРС с помощью системы автоматизированного проектирования "SolidWorks" // Горное оборудование и электромеханика. - 2019. - №4. - С. 10-14.

УДК 621.879.323:

## РАБОТА ПЛОСКОЙ ГИДРОСТАТИЧЕСКОЙ ОПОРЫ В ТРЕХОПОРНОМ МЕХАНИЗМЕ ШАГАНИЯ ЭКСКАВАТОРА-ДРАГЛАЙНА

Суслов Н.М., д-р техн. наук, проф., Чернухин С.А., аспирант  
Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

*В статье рассмотрен вариант применения плоской гидростатической опоры для трехопорного механизма шагания экскаватора-драглайна, с целью повышения эффективности применения механизма на открытых горных работах. Произведен расчет расхода масла через плоскую гидростатическую опору в условиях использования ее на карьерных грунтах, имеющих разную несущую способность.*

*Ключевые слова:* вскрышные работы, экскаватор-драглайн, трехопорный механизм шагания, плоская гидростатическая опора, скольжение, повышение эффективности.

## WORK OF A FLAT HYDROSTATIC SUPPORT IN A THREE-SUPPORT WALKING MECHANISM OF A DRAGLINE EXCAVATOR

*The article discusses the option of using a flat hydrostatic support for the three-support walking mechanism of a dragline excavator in order to increase the efficiency of the mechanism in open cast mining. The calculation of oil flow through a flat hydrostatic support in the conditions of its use on quarry soils having different bearing capacity is made.*

*Keywords:* overburden works, dragline excavator, triple support walking mechanism, flat hydrostatic support, sliding, increased efficiency

Одним из самых эффективных способов ведения вскрышных работ является бестранспортная технология с применением экскаваторов-драглайнов на шагающем ходу. Наиболее распространенным механизмом передвижения является трехопорный шагающий механизм с гидравлическим приводом. Благодаря низкому удельному давлению на грунт при перемещении и стационарной работе и возможности регулировки величины шага механизм шагания позволяет использовать машины на грунтах с низкой несущей способностью. Но у трехопорного механизма существует веский недостаток – для обеспечения необходимой длины шага требуется поднятие центра масс на значительную высоту. Так, существует прямая зависимость длины шага от высоты подъема центра масс экскаватора. Для решения этой проблемы в механизме [1] было принято техническое решение установить в опорных башмаках скользящую опору, как в четырехопорном механизме шагания экскаватора ЭШ-100.100[2]. Такая система позволяет обеспечить необходимую величину шага с минимальным отрывом передней кромки базы от грунта, при минимальной величине подъема центра масс драглайна[3].

В механизме [1], как и в четырехопорном механизме используется гидростатический подшипник. Гидростатический принцип характеризуется тем, что между двумя параллельными плоскостями, которые двигаются навстречу друг другу, нагнетается жидкость. Эта жидкость отделяет плоскости одна от другой и воспринимает силы тяжести машины. Таким образом, она выполняет функции роликов в паре качения или роль масляной



пленки в паре скольжения при гидродинамической смазке. Передвижение экскаватора происходит на скользящих по плитам, установленным на опорных башмаках. Скользун имеет пять поверхностей скольжения: одну горизонтальную, две боковые, две верхние горизонтальные.

Гидрожидкость в камере воспринимает нагрузку, приходящуюся на опору при подъеме и перемещении экскаватора. Боковые поверхности скольжения воспринимают боковую нагрузку при передвижении по косогорам. Боковые поверхности смазываются за счёт утечек с горизонтальной поверхности скольжения при передвижении экскаватора. Верхние горизонтальные поверхности скольжения служат опорой башмаков при их маневрах. Жидкость на эти поверхности в виде смазки поступает из камеры через разгрузочное устройство.

Основными параметрами гидростатических опор является расход масла, необходимый для поддержания определенной толщины масляной пленки, давление жидкости при прокачке масла[4].

Для расчета расхода масла плоского гидростатического подшипника разработан метод при постоянной толщине масляной пленки[5]:

$$Q = \frac{\pi h^3 p_0}{6\mu \ln R/r} \quad (1)$$

где  $h$  – толщина масляной пленки,  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости,  $p_0$  – величина давления в камере.

Наш случай использования гидростатического подшипника не позволяет применить такой расчет ввиду прогиба опорных башмаков при движении по неровностям карьерного грунта, так как от величины возникшего прогиба зависит величина зазора между поверхностями скольжения, влекущая за собой расход масла через гидростатический подшипник.

Наибольший прогиб будет наблюдаться при нагружении опорного башмака силой  $P$  посередине пролета, относительно которой линия прогибов будет симметрична (рис. 1).

Определим расход масла для данного случая через весь подшипник, выразив его как расход масла через третью четверть подшипника, умноженную на 4[6, 7].

$$Q = \frac{P_0}{3\mu \ln(R/r)} \int_{\pi}^{3/2\pi} [f_1(\varphi)]^3 d\varphi, \quad (2)$$

где  $P$  – нагрузка передаваемая подшипником;  $\varphi$  – угол бесконечно малого сектора  $n$ -го участка подшипника в цилиндрических координатах.

После преобразований получим следующую зависимость:

$$Q = \frac{P_0 P^3}{192\mu \ln(R/rE^3)} \int_{\pi}^{3/2\pi} (Ar^3 \cos^3 \varphi + Br^3 \cos^3 \varphi - Cr \cos \varphi - D)^3 d\varphi, \quad (3)$$

где  $A = 1/3I$ ;  $B = 1/2I$ ;  $-C = k/0,2F$ ;  $E$  – модуль упругости при растяжении (сжатии);  $I$  – момент инерции сечения опорного башмака относительно оси

$y$ ;  $l$  – длина опорного башмака;  $k$  – коэффициент, зависящий от формы, размеров сечения и направления оси  $y$ ;  $F$  – площадь поперечного сечения опорного башмака.

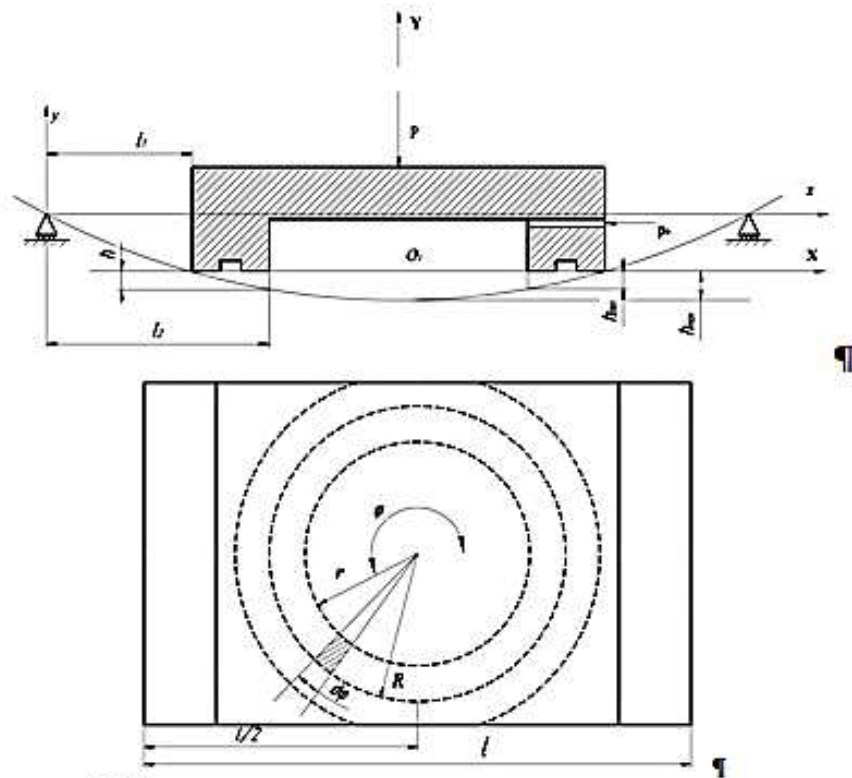


Рисунок 1. Расчетная схема плоской гидростатической опоры

Проинтегрировав выражение (3) и отбросив десять первых членов из-за малой величины, не превышающей 2 – 5% от общего результата, получим:

$$Q = \frac{p_0 P^3}{192 \mu \ln(R/r) E^3} \left( \begin{aligned} & \frac{9\pi}{8} ACDr^4 + \frac{9\pi}{16} BC^2r^4 - \frac{9\pi}{16} B^2Dr^4 - 2AD^2r^3 + \\ & \frac{2}{3} C^3r^3 - 4BCDr^3 + \frac{3\pi}{4} C^2Dr^2 + 3CD^2r - \frac{\pi}{2} D^3 \end{aligned} \right). \quad (4)$$

Согласно уравнению давления в камере [4]:

$$p_0 = \frac{2P \ln(R/r)}{\pi(R^2 - r^2)}. \quad (5)$$

Подставив его в выражение (4), получаем:

$$Q = \frac{P^4}{96\pi(R^2 - r^2)\mu E^2} \left( \begin{aligned} & \frac{9\pi}{8} ACDr^4 + \frac{9\pi}{16} DC^2r^4 - \frac{9\pi}{16} B^2Dr^4 - 2AD^2r^3 + \frac{2}{3} C^3r^3 - \\ & 4BCDr^3 - \frac{3\pi}{4} BD^2r^2 - \frac{3\pi}{4} C^2Dr^2 + 3CD^2r - \frac{\pi}{2} D^3 \end{aligned} \right) \quad (6)$$

Расход масла через гидростатический подшипник, установленный на трехопорном механизме шагания экскаватора-драглайна, передающего нагрузку через опорные башмаки, зависит от нагрузки в 4-й степени.

### **Список литературы**

1. А.с. №.825806, кл. Е 02 F 9/04/ Механизм шагания экскаватора / П.А. Касьянов, Н.М. Суслов, 1981.
2. Николаев В.Н. Шагающие экскаваторы России // Горное оборудование и электромеханика. 2007. №2. С. 4-5.
3. Суслов Н.М., Чернухин С.А. Совершенствование шагающих механизмов, повышающее эффективность их использования // Известия уральского государственного горного университета. 2018. №3(51). С. 108-113.
4. Бундур М. С., Прокопенко В. А., Чернов И. А. Моделирование шпиндельных гидростатических подшипников и исследование возможностей повышения их динамического качества // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2009. №6 (64).
5. Машиностроительный гидропривод./ Л. А. Кондаков, Г.А. Никитин, В. Н. Прокофьев и др. Под ред. В. Н. Прокофьева. М., Машиностроение, 1978 – 496 с., ил.
6. Попов В.Н., Суслов Н.М. Определение расхода масла через гидростатический подшипник шагающего экскаватора ЭШ-80.100 // Изв. Вузов. Горный журнал. 1973. С.69-72.
6. Строк Л. В., Секацкий В. С., Пикалов Я. Ю., Брунгардт М. В. Расчет характеристик незамкнутого осевого гидростатического подшипника с учетом шероховатости опорных поверхностей // Сибирский журнал науки и технологий. 2012. №3 (43).

УДК 622.4

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАПЛЕУЛОВИТЕЛЯ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ВОДНЫХ И ПЫЛЕВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В ВЕНТИЛЯЦИОННОМ ТРУБОПРОВОДЕ ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ ШАХТ И РУДНИКОВ

Фомин А. Н.

ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)», г. Владикавказ

*В статье вкратце описана проблема, возникающая в вентиляционных системах глубоких шахт при образовании капельной жидкости в струе вентиляционного воздуха, которая, в свою очередь, оседая на стенках вентиляционных труб, стекает вниз, вступая в противоточное взаимодействие с восходящим вверх воздушным потоком. Представлены: схема каплеуловителя и описана его работа, результаты проведенных экспериментов исследования работы каплеуловителя.*

**Ключевые слова:** влажосодержание, каплеобразование, капельная жидкость, вентиляционный воздух, улавливание, каплеуловитель, очистка газов.

## USE OF A DROP CATCHER FOR REMOVING WATER AND DUST FORMATIONS IN THE VENTILATION PIPELINE OF THE MAIN VENTILATION OF MINES AND MINES

Fomin A. N.

*The proposed article briefly describes the problem that occurs in ventilation systems of deep mines when a drop of liquid is formed in a stream of ventilation air, which, in turn, settling on the walls of ventilation pipes, flows down entering into a countercurrent interaction with the upward air flow. The paper presents: a diagram of the droplet catcher and describes its operation, the results of experiments conducted to study the operation of the droplet catcher.*

**Keywords:** Moisture content, droplet formation, drip liquid, ventilation air, trapping, drop catcher, gas cleaning

На горнодобывающих предприятиях наиболее важным направлением деятельности для создания и поддержания максимально приемлемого пребывания людей в местах выработки является надёжная и непрерывная система проветривания, которая должна соответствовать определенным условиям [1], для достижения которых в мировой горнодобывающей индустрии непрерывно ведутся работы по модернизации как самих систем проветривания, так и вентиляционного оборудования и устройств.

Все чаще для обеспечения вентиляции горных выработок в нагнетательном, вытяжном и комбинированном способах проветривания применяют трубные системы из разных материалов. Более частое применение наблюдается в глубоких шахтах.

В ходе научно-исследовательских работ было отмечено, что при увеличении перепада температур между поверхностью возле ствола шахты и забоем, особенно в зимнее время, увеличивается влажосодержание в вентиляционном потоке, что приводит к выпадению капельной жидкости в струе вентиляционного воздуха [2].

Результаты замера параметров микроклимата вентиляционной струи при расходе воздуха в двух магистральных трубопроводах 16,1 м<sup>3</sup>/с приведены в таблице 1.

Таблица 1

Место измерения	Температура воздуха по мокрому термометру, °С	Температура воздуха по сухому термометру, °С	Относительная влажность воздуха, %	Влагосодержание в воздухе, г/кг
На поверхности возле ствола шахты	+2	+2	100	4,6
На рудничном дворе гор.- 300 м	+12	+12,4	100	9
В забое гор.- 300 м, удаленного на 100 м	+13,9	+14,1	100	10

Разница влагосодержания воздуха на горизонте 300 м и на дневной поверхности возле вентиляционного ствола указывает на количество не выведенной в атмосферу влаги, а выпадающей в виде конденсата и оседающую на внутреннюю поверхность вентиляционного трубопровода.

Осевшая на стенках трубопровода и стекающая вниз вода в противотоке с вентиляционным воздухом образуют волновые эффекты [3], уменьшающие сечение труб, что в свою очередь ухудшает вентиляционные ха-

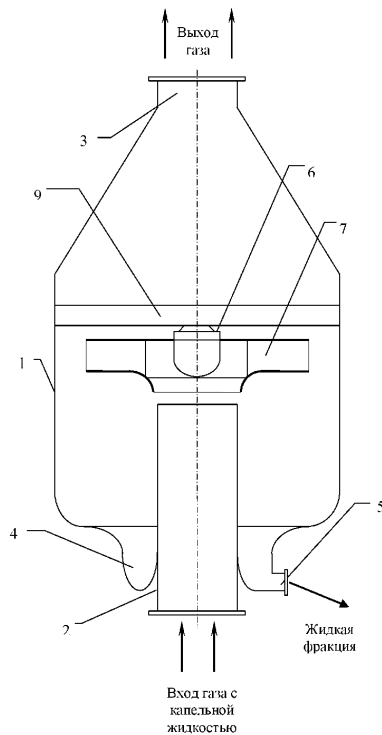


Рис. 1

Капельно-жидкостный уловитель работает следующим образом:

характеристики главного проветривания шахты. Более того, накопление водных масс в вентиляционном трубопроводе может приводить к полному его перекрытию и приводить к поршнево-му эффекту, обрушиваясь сверху вниз и приводя к аварийным ситуациям [4]. Это обстоятельство усугубляется попаданием в вентиляционный поток твердых частиц горной породы, образующихся при буровзрывных работах и уносимые вентиляционным потоком из забоя рудника. Осаждения пара на центры конденсации зависит от материала пылевых масс и величины статического заряда частиц [5].

Кроме того, в зимнее время излишнее влагосодержание в вентиляционном потоке приводит к обмораживанию устья вентиляционного ствола и системы главного проветривания.

Для улавливания капельной жидкости разработана установка центробежного типа (рис. 1).



Рис. 2

Газожидкостная смесь поступает в корпус 1 через осевой входной патрубок 2 и попадает рабочий орган 7. Выделение капельной жидкости из газового потока происходит за счёт центробежных сил, возникающих при вращении рабочего органа 7, который приводится в движение электроприводом 6. Капельная жидкость закручивается рабочим органом 7 и с большой скоростью отбрасывается на стенку корпуса 1. Капли жидкости оседают на внутренней поверхности корпуса 1, под действием сил тяжести стекают в каплеборник и образовавшаяся жидкость удаляется через сливной патрубок 5. Далее очищенный от капельной жидкости газ через осевой выходной патрубок 3 посредством тягодутьевого устройства (на рисунке не показан) и благодаря конструктивной особенностям рабочего органа выводится из ловителя.

Работа каплеуловителя была опробована в лабораторных условиях СКГМИ (ГТУ) и подана заявка на изобретение (рис. 2, 3).

Согласно проведенным теоретическим исследованиям входными переменными приняты: количество распыленной (подаваемой) в воздушном потоке воды  $\Delta q$ , г/м<sup>3</sup>, частота

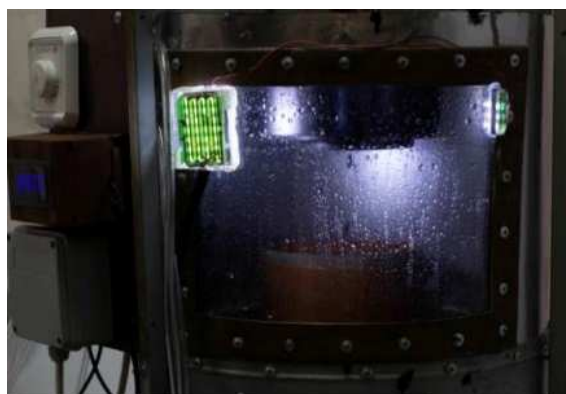


Рис. 3

вращения ротора каплеуловителя  $n$ , об/мин, количество лопаток ротора. Выходным параметром принят объем уловленной каплеуловителем воды  $Q$ .

Для наилучшего выявления зависимости между откликом и факторами проведен полный факторный эксперимент, реализующий все возможные неповторяющиеся

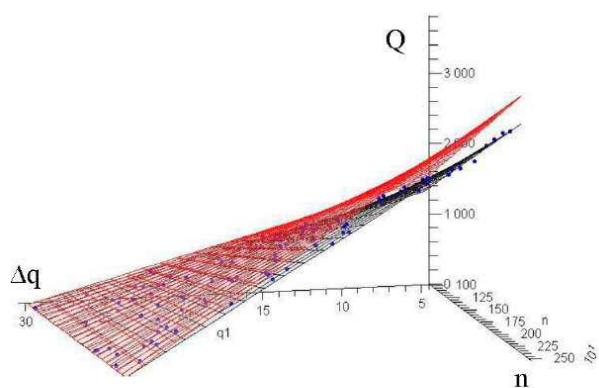


Рис. 4

комбинации значений факторов.

Результаты проведенных экспериментов (синие точки), теоретическая зависимость (красная поверхность) и экспериментальная регрессионная зависимость (черная поверхность) представлены на рис 4.

### Список литературы

1. Машковец И.Л., Балыхин Г.А. Аэрология и охрана труда на шахтах и в карьерах. – М., изд. УДН, 1986. – 312 с.
2. Герасименко Г.П., Выскребенец А.С. Проветривание штольни в Баксанской нейтринной обсерватории // Шахтное строительство, 1983. № 5, – С. 23-24.
3. Капица П.Л. // ЖЭТФ. – 1948. – Т. 18. № 1. – С. 19.
4. Фомин А.Н., Выскребенец А.С., Свердлик Г.И. Проблемы, возникающие при образовании капельной жидкости в вертикальных вентиляционных трубопроводах, расположенных в стволах глубоких шахт, и способ их решения // ГИАБ специальный выпуск. – 2017. – № 30. – С. 19-26.
5. Кустов М.В. Физико-химические основы процесса каплеобразования в атмосфере на заряженных центрах конденсации // Технологии техносферной безопасности. Интернет-журнал. – 2014. – Выпуск № 1 (53). Источник: <http://academygps.ucoz.ru/ttb/2014-1/2014-1.html#7>

УДК 622.61/67

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕХАНИЗМОВ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГОРНОЙ ТЕХНИКИ В СОСТАВЕ ПРОХОДЧЕСКОГО ВЗРЫВОНАВАЛОЧНОГО КОМПЛЕКСА

Щербаков С.В., ст. преподаватель, Маковецкая А.В., студент, Воронов П.Р., студент  
Шахтинский автодорожный институт (филиал) ЮРГПУ(НПИ) им. М.И. Платова

*Приведены требования к транспортирующему устройству проходческого взрывонавалочного комплекса. Приведены результаты обзора известных конструкций агрегатированных комплексов на базе конвейера, а также результаты анализа возможности их работы в режиме взрывонавалки. Выполнен анализ возможности использования механизмов перемещения, применяющихся в горной технике, в конструкции агрегатированных проходческих систем, предназначенных для использования взрывонавалочной технологии проведения горных выработок. Обоснована необходимость использования распорно-подающего механизма перемещения в составе проходческого взрывонавалочного комплекса.*

**Ключевые слова:** взрывонавалочные технологии, проходческий комплекс, повышение эффективности, распорно-подающий механизм перемещения.

## ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF USING MECHANISMS FOR MOVING MINING EQUIPMENT AS PART OF TUNNELING EXPLOSIVE-BULK COMPLEX

Shcherbakov S.V., Makovetskaya A.V., Voronov P.R.

*The requirements for the transport device of the tunneling explosion-filling complex are given. The results of the review of the known designs of aggregate complexes based on the conveyor, as well as the results of the analysis of the possibility of their operation in the mode of explosive-bulk is performed. The analysis of the possibility of using the movement mechanisms used in mining equipment in the design of aggregate tunneling systems designed for the use of explosive-bulk technology for mining operations is performed. The necessity of using a spacer-feed mechanism of movement as part of a sinking explosion-filling complex is justified.*

**Keywords:** explosion-bulk technologies, tunneling complex, efficiency improvement, spacer-feeding mechanism of movement.

На протяжении всего периода развития техники для механизации горнопроходческих работ, ее разработка базировалась на создании оборудования, механизмирующего отдельные проходческие операции. Для эффективного функционирования машин организации-разработчики оснащали их органом перемещения. Поскольку механизм перемещения являлся общим структурным элементом, было сформулировано положение о том, что на базе единой конструкции, механизм перемещения которой совмещает в себе аналогичные функции обособленных машин, возможна разработка многофункциональных машин, что приведет, как минимум, к сокращению затрат времени на маневровые операции и улучшению производительности горнопроходческой системы [1-4]. Таким образом, метод агрегатирования, который использовался при разработке добычных комплексов, получил свое развитие и при создании проходческих комплексов – агрегатированных проходческих систем (АПС) [1, 2].

Различными исследователями в разные периоды времени выдвигалась



идея об использовании для проведения подземных выработок взрывонавалочной технологии, которая была достаточно распространена на очистных работах в середине XX века и, по сути, представляла собой погрузку горной массы на конвейер, но не погрузочной машиной, а силой взрыва. Однако применение взрывонавалки на очистных и на проходческих работах имеют существенные различия в характеристиках погружаемой горной массы. Если на очистных работах на конвейер наваливался уголь крепостью не выше  $f=2$  по шкале проф. М.М. Протодяконова, то при буровзрывном способе проведения выработок на конвейер будет попадать горная масса крепостью  $f \geq 10$ . Такой материал отличается, помимо крепости, высокой абразивностью и крупностью кусков.

Для реализации взрывонавалочной технологии, АПС должна иметь транспортирующее устройство, способное принять разрушенную взрывом горную массу и переместить ее на сопряженное с ним средство транспорта. Такое устройство должно соответствовать перечню требований, приведенному в [5], а именно, обладать: жесткостью и прочностью конструкции, сопоставимыми (с достаточным запасом) с мощностью взрыва и действием взрывной волны; возможностью работы внутри штабеля горной массы; возможностью приема всей взорванной горной массы; возможностью обслуживания всего фронта забоя; возможностью сопряжения со следующими средствами транспорта; механизмом перемещения для подачи к забою, внедрения вглубь штабеля и отвода от забоя; дистанционными средствами контроля и управления.

Выполнение перечисленных требований дает возможность транспортировать горную массу при отсутствии людей в призабойной зоне и, как следствие, совместить этот процесс с проветриванием выработки, а взрывание шпуров совместить с погрузкой горной массы.

Очевидно, что реализовать приведенные варианты совмещения операций смогут только АПС, базовым элементом которых являются или конвейер, или механизм перемещения с расположенным на почве конвейером. Данным условиям отвечают следующие, известные к настоящему времени, конструкции буровзрывных АПС: проходческий комплекс «НПИ-ИГД им. А.А. Скочинского» [5]; система горнопроходческих машин СГПМ (пат. 2144139) [5]; проходческий комплекс фирмы «Тракхедер» (Англия) [14]; проходческий агрегат [5]; агрегатированный погрузочно-транспортный комплекс АПТК [5]; проходческий взрывонавалочный комплекс ПКВН [6-8].

Известные типы тягово-транспортирующих органов (ленточные, скребковые, пластинчатые и др.) при взаимодействии с крепким крупнокусковым материалом подвергаются повышенному износу и быстро выйдут из строя. Ситуация изменилась с появлением перегружателя с клиновым тягово-транспортирующим органом [9, 10], на базе которого разработан агрегатированный проходческий взрывонавалочный комплекс ПКВН [6-8]. В работе [5], на основе имитационно-статистического моделирова-

ния [11-13] функционирования перечисленных АПС сделан вывод о том, что комплекс ПКВН отвечает всем необходимым требованиям. Однако в этой работе не анализировался механизм перемещения комплекса.

Несмотря на то, что перемещение оборудования не относится к основным операциям проходческого цикла, оно является безусловной необходимостью, а механизм перемещения – важнейшим элементом любой машины или комплекса. Как показано ранее, механизм перемещения является общим структурным элементом всей АПС, поэтому к нему предъявляются особые требования, продиктованные спецификой конструкции такого вида оборудования, и технологии, планируемой к использованию, в данном случае, взрывонавалочной.

При обосновании типа механизма перемещения необходимо учесть следующие особенности ПКВН.

Во-первых, ПКВН характеризуется значительными габаритами и, соответственно, большой массой. Он испытывает высокие ударные нагрузки во время взрыва от действия взрывной волны и разлетающихся кусков породы. Помимо массы самого комплекса, после взрыва в его бункере располагается порядка 60-70 тонн разрушенной горной массы.

Во-вторых, бункер для взрывонавалки перекрывает выработку на всю ширину, поэтому нет необходимости в маневрах по почве.

В-третьих, стесненное пространство в сечении выработки не позволяет дополнительно увеличить габариты комплекса. Это может привести к экономически нецелесообразному увеличению высоты выработки.

В горной технике известны гусеничный, колесно-рельсовый, пневмоколесный и распорно-подающий типы механизмов перемещения. Первые три типа предполагают наличие некой ходовой части, на которой будет смонтирован весь комплекс. Исходя из перечисленных особенностей становится очевидно, что ходовая часть, способная нести такой комплекс, должна обладать значительными габаритами и высокой энерговооруженностью, что дополнительно усложнит его конструкцию, увеличит габариты, массу и повысит стоимость. Отсюда следует, что комплекс должен располагаться непосредственно на почве выработки и этому условию в полной мере соответствует механизм перемещения распорно-подающего типа. К настоящему времени разработана компоновочная схема и техническое решение механизма перемещения в совокупности с опорной рамой комплекса [13].

Для обоснования рациональных параметров механизма перемещения необходимо: а) разработать математическую модель функционирования механизма перемещения комплекса; б) выполнить моделирование и определить зависимости основных параметров механизма перемещения от характеристик внешней среды; в) разработать методику расчета основных параметров механизма перемещения проходческого взрывонавалочного комплекса с учетом критических режимов работы.

### **Список литературы**

1. Воронова, Э.Ю. Опыт создания и развитие агрегатированных проходческих систем для проведения горизонтальных и наклонных горных выработок / Э.Ю. Воронова, А.Ю. Антипов // Горное оборудование и электромеханика. - 2013. - №6. - С. 30-37.
2. Воронова, Э.Ю. Структурный синтез агрегатированных проходческих систем / Э.Ю. Воронова // Горное оборудование и электромеханика. - 2013. - №1. - С.32-39.
3. Воронова, Э.Ю. Системные аспекты формирования производительности проходческих систем / Э.Ю. Воронова // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2014. - №4. - С.259-265.
4. Воронова, Э.Ю. Разработка математической модели формирования производительности проходческих систем / Э.Ю. Воронова // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2014. - №5. - С.162-171.
5. Антипов, Ю.В. Обзор конструкций агрегатированных проходческих комплексов на базе конвейеров и анализ возможности их работы с использованием взрывонавалочной технологии / Ю.В. Антипов, П.Р. Воронов // Перспективы развития Восточного Донбасса: материалы VII-й Междунар. и 65-й Всерос. науч.-практ. конф., апрель, 2016, г. Шахты / Шахтинский ин-т (филиал) ЮРГТУ(НПИ). - Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ), 2016. С. 13-22.
6. Хазанович, Г.Ш. Методика расчета производительности клинового тягово-транспортного органа в составе взрывонавалочного проходческого комплекса / Г.Ш. Хазанович, Э.Ю. Воронова // Горное оборудование и электромеханика. - 2016. - №5. - С.29-36.
7. Khazanovich G.S., Voronova E.Yu., Otrokov A.V. Simulation of the performance formation process of the loader with wedge-like working elements as a part of the blast and bulk tunneling complex / Procedia Engineering 206, 2017. - pp. 457-464.
8. Хазанович, Г.Ш. Конструктивные особенности и основные параметры агрегатированного взрывонавалочного проходческого комплекса / Г.Ш. Хазанович, Э.Ю. Воронова // Горное оборудование и электромеханика. - 2013. - №4. - С.9-16.
9. Хазанович, Г.Ш. Усовершенствование проходческого комплекса для проведения горных выработок по крепким породам с использованием взрывонавалочных технологий / Г.Ш. Хазанович, Э.Ю. Воронова // Горное оборудование и электромеханика. - 2009. - №7. - С. 2-4.
10. Воронова, Э.Ю. Устройство для перемещения предохранительной крепи проходческого взрывонавалочного комплекса / Э.Ю. Воронова, Г.Ш. Хазанович, Ю.В. Антипов, П.Р. Воронов // Современные прикладные исследования: матер. Нац. рос. конф., апрель 2017, г. Шахты / Южно-Российский гос. политехн. ун-т (НПИ) им. М.И. Платова. – Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ), 2017. – С. 22-26.
11. Хазанович, Г.Ш. Об имитационном моделировании буровзрывных проходческих систем / Г.Ш. Хазанович, Э.Ю. Воронова, Г.В. Лукьянова // Горные машины и автоматика. – 2004. – №6. – С. 42-45.
12. Хазанович, Г.Ш. К вопросу об оценке эффективности горнопроходческих систем / Г.Ш. Хазанович, Э.Ю. Воронова // Горное оборудование и электромеханика. - 2011. - №7. - С.15-22.
13. Воронова, Э.Ю. Модернизация конструкции распорно-подающего механизма перемещения / Э.Ю. Воронова, С.В. Щербаков // Современные прикладные исследования: материалы третьей национальной науч.-практ. конф., 16-19 апреля 2019, г. Шахты / Южно-Российский гос. политехн. ун-т (НПИ) им. М.И. Платова. – Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ), 2019. – С. 359-364.

УКД 621.285.4:624.191.6

## ВИБРОАКТИВНЫЙ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩИЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ РАЗРУШЕНИЯ СЛОЖНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ЗАБОЙНОГО МАССИВА

Юнгмейстер Д.А., профессор, д-р техн. наук, Насонов М.Ю., д-р техн. наук,  
Ячейкин А.И., аспирант  
Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург

*Предложена конструкция виброактивных породоразрушающих инструментов – шарошек, с целью повышения эффективности разрушения комбинированного забоя в условиях шахт Санкт-Петербургского Метростроя. Разработаны методика экспериментальных исследований и экспериментальный стенд, на котором проводятся исследования. В результате экспериментальных исследований были построены графические зависимости глубины внедрения шарошек от осевого усилия совместно с ударной нагрузкой. Применение виброактивных шарошек позволит существенно повысить производительность тоннелепроходческих щитов и снизить затраты на ремонт исполнительных органов.*

**Ключевые слова:** тоннелепроходческий щит; дисковые шарошки; исполнительный орган; забой.

## VIBROACTIVE ROCK-BREAKING TOOL FOR INTENSIFICATION OF DESTRUCTION OF A COMPLEX-STRUCTURED BOTTOM-HOLE ARRAY

Yungmeyster D. A., Nasonov M. Yu., Yacheikin A. I.

*The design of vibro-active rock-breaking tools-balls is proposed in order to increase the efficiency of destruction of the combined face in the conditions of mines of the St. Petersburg Metrostroy.. The method of experimental research and the experimental stand where the research is carried out are developed. As a result of experimental studies, graphical dependences of the depth of introduction of the balls on the axial force together with the shock load were constructed. The use of vibro-active balls will significantly increase the productivity of tunneling boards and reduce the cost of repairing Executive bodies.*

**Keywords:** shield tunnel boring machine; disc cutters; executive body; bottomhole array.

Строительство Санкт-Петербургского метро осуществляется в сложных горно-геологических условиях. Обусловлено это тем, что Санкт-Петербург находится на стыке Балтийского щита и Русской плиты. Поэтому забойный массив представлен разнообразием глин с прослойками известняков, песчаников и включениями гранитных валунов[1].



Рисунок 1. Тоннелепроходческий щит Herrenknecht S-782

Проходка перегонных тоннелей в таких условиях весьма трудозатратна и медлительна, несмотря на то, что осуществляется современными тоннелепроходческими комплексами компании Herrenknecht [2] (рисунок 1), исполнительные органы которых оснащены резцами и дисковыми шарошками [3]. Низкие темпы проходки обусловлены малой подачей исполнительного органа тоннелепроходческого щита на забой и частые выходы из строя породоразрушающего инструмента.

Для повышения эффективности разрушения комбинированного забойного массива и как следствие повышения производительности тоннелепроходческого щита возможно применение виброактивных породоразрушающих инструментов – шарошек, конструкция которых запатентована [4]. Для проверки работоспособности таких шарошек разработан экспериментальный стенд (рисунок 2) на котором проводятся исследования функции  $h$  – глубины внедрения шарошек в породу от таких параметров как осевое усилие  $P_{ос}$  и энергия удара  $A_{уд}$ . Такие параметры как угол заострения шарошек, диаметр шарошек, скорость вращения были приняты постоянными.



Рисунок 2. а - экспериментальный стенд; б – шарошечная модель

Экспериментальный стенд состоит из следующих основных узлов: 1- основная рама; 2- подвижная рама; 3 - перфоратор; 4 - шарошечная модель (рисунок 2, б); 5- образец породы. Подвижная рама, с жестко закрепленным на ней перфоратором, в который уже вставлена шарошечная модель, устанавливается в основную раму до соприкосновения шарошечной модели с образцом породы. Далее в режиме «сверление» производится запуск перфоратора и за определенное время производится разрушение образца породы. После этого производится замеры глубины внедрения шарошек. Аналогичным образом проходит исследование воздействия ударной

нагрузки, при этом перфоратор переключается в режим «сверление с ударом».

Во время проведения экспериментальных исследований помимо наложения ударной нагрузки  $A_{уд}$  производилось изменение осевого усилия  $P_{ос}$  путем нагружения верхней части подвижной рамы сменными грузами. Результаты эксперимента представлены на рисунке 3.

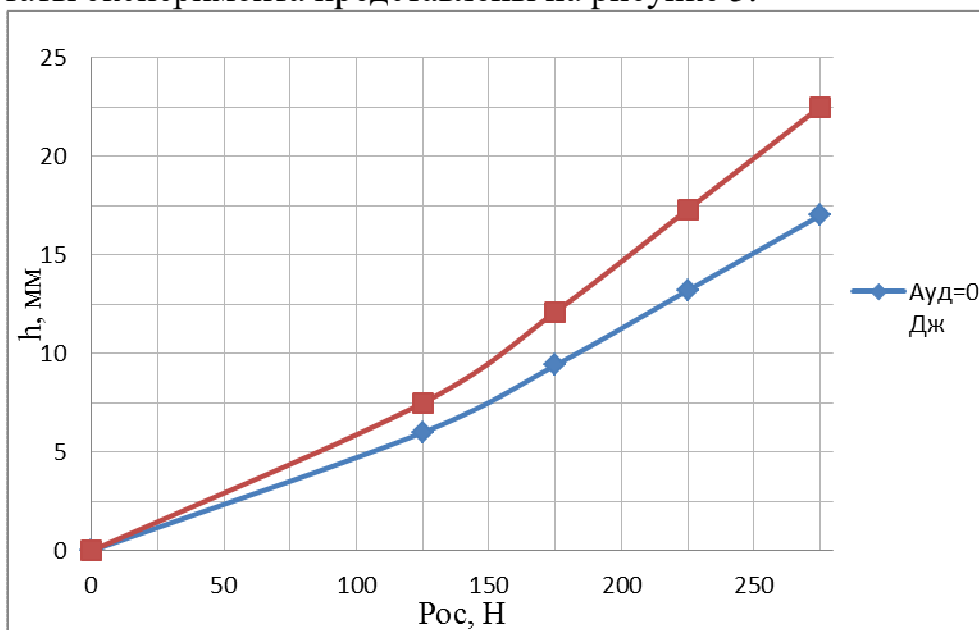


Рисунок 3. Зависимость глубины внедрения шарошки в глину от осевого усилия

Проанализировав график можно сделать вывод о том, что при увеличении осевого усилия совместно с наложением ударной нагрузки происходит существенное увеличение величины внедрения шарошки в породу. Помимо этого меняется характер разрушения, появляются крупные сколы породы.

Предложенная конструкция виброактивной шарошки, установленная на роторный исполнительный орган тоннелепроходческого щита позволит повысить производительность, надежность работы и увеличить область его применения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Особенности инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга/ Р. Э. Дашко, О. Ю. Александрова, П. В. Котюков, А. В. Шидловская// Развитие городов и геотехническое строительство. – 2011. - №1. – С. 1-47.
2. Проходческая техника, открывающая новую эру для подземных транспортных систем: Проспект “Херренкнехттоннельсервис”. – 2007. – 20с.
3. Щитовые проходческие комплексы / В.А.Бреннер, А.Б. Жабин, М.М. Щеголевский и др. – Москва: Горная книга 2009. - 360с
4. Патент РФ 2701764

УДК 622.232

## ОЦЕНКА РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЗМА РЫЧАЖНОГО РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА

А. П. Комиссаров<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф., Н. С. Плотников<sup>2</sup>, инженер

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург

<sup>2</sup> – ООО «Уральская производственная компания», г. Екатеринбург

*Выполнена оценка режимных параметров механизма рычажного рабочего оборудования типа прямая лопата карьерного экскаватора. На основе кинематического и силового анализа механизма получены зависимости для расчета скоростей рабочих движений и усилий, действующих на звенья механизма. Разработаны имитационная модель процесса экскавации и методика определения рациональных значений скоростей рабочих движений, обеспечивающих перемещение ковша (вершины режущей кромки) по заданной траектории. Выявленные закономерности изменения кинематических свойств могут быть использованы при проектировании системы управления приводами главных механизмов. Предложенная методика позволит обеспечить координацию работы главных исполнительных механизмов при их совместном действии в процессе экскавации.*

**Ключевые слова:** передаточный механизм карьерного экскаватора; имитационная модель процесса экскавации; методика определения рациональных значений скоростей рабочих движений.

## EVALUATION OF PERFORMANCE PARAMETERS OF THE MECHANISM LEVER OF THE WORKING EQUIPMENT QUARRY EXCAVATOR

Komissarov A. P., Plotnikov N. S.

*The evaluation of the operating parameters of the mechanism of the lever working equipment of the straight shovel type of a quarry excavator was performed. On the basis of kinematic and force analysis of the mechanism, dependences are obtained for calculating the speeds of working movements and forces acting on the links of the mechanism. A simulation model of the excavation process and a method for determining the rational values of the speeds of working movements that ensure the movement of the bucket (the top of the cutting edge) along a given trajectory are developed. The revealed regularities of changes in kinematic properties can be used in the design of the main mechanism drive control system. The proposed method will ensure the coordination of the main Executive mechanisms when they work together in the process of excavation.*

**Keywords:** transfer mechanism of a quarry excavator; simulation model of the excavation process; method for determining the rational values of the speeds of working movements.

**Введение.** В современных условиях при ограниченности материальных и энергетических ресурсов на первый план выдвигается проблема создания высокопроизводительного и ресурсосберегающего оборудования, основанного на более совершенных технологических и конструктивных принципах. Эффективность функционирования карьерного экскаватора как сложной электромеханической системы определяется степенью согласования режимных параметров и координацией работы главных исполнительных механизмов при выполнении рабочего процесса экскавации горных пород в конкретных горнотехнических условиях эксплуатации оборудования.

В технической литературе [1 – 6] недостаточно полно освещены вопросы, связанные с определением и согласованием режимных параметров главных механизмов в конкретных горнотехнических условиях эксплуатации оборудования. Определение скоростей и усилий, реализуемых на ведомых звеньях механизмов, производится лишь при расчетных положениях рабочего оборудования.

Предварительный выбор установленной мощности приводов главных исполнительных механизмов производится по примерным скоростным и нагрузочным диаграммам. Определение и согласование режимных параметров главных механизмов в конкретных горнотехнических условиях позволит разработать алгоритм управления приводами главных механизмов и, в конечном счете, увеличить производительность экскаватора.

**Предмет исследования** – выявление технических и технологических особенностей карьерного экскаватора с рычажным рабочим оборудованием [7, 8].

Рабочее оборудование (рис. 1) включает рукоять, жестко соединенную с ковшом и установленную в седловом подшипнике, и несущую балку (верхняя рукоять), установленную в седловом подшипнике и соединенную с рукоятью посредством рамы и тяги.

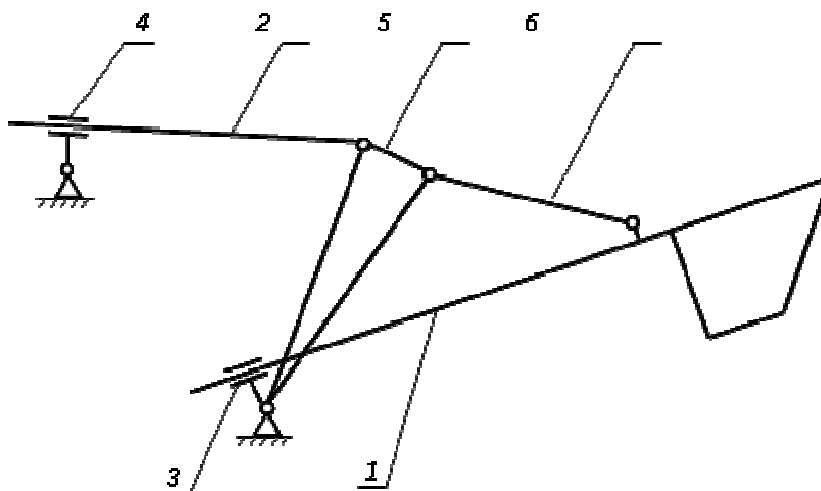


Рис. 1. Структурная схема рычажного оборудования:

- 1 – звено рукоять-ковш, 2 – несущая балка;  
3, 4 – седловой подшипник, 5 – рама, 6 – тяга

Отличительными существенными признаками [9] данного рабочего оборудования являются:

- соединение рукояти и несущей балки посредством кинематических связей обеспечивает согласование рабочих движений главных механизмов (механизма напора и механизма перемещения несущей балки);

- исключение из состава рабочего оборудования стрелы и установка главных механизмов на поворотной платформе обеспечивает существенное уменьшение массы рабочего оборудования.



Методы исследования – методы теории механизмов и машин; имитационное моделирование процесса экскавации горных пород; вычислительный эксперимент.

В процессе экскавации горных пород при совместном действии главных механизмов образуется передаточный механизм (механизм рабочего оборудования), соединяющий главные механизмы с ковшом и состоящий из элементов рабочего оборудования и звеньев главных механизмов.

Разработана математическая модель передаточного механизма на основе структурного и кинематического анализа [10 – 12].

Получены выражения для определения кинематических передаточных функций механизма, т. е. функциональных зависимостей между скоростью копания и скоростями напора и перемещения несущей балки.

В общем виде выражения для кинематических передаточных функций составят:

$$\Phi_{V_H} = \frac{V_H}{V_K} = f_1(X_K, Y_K, \psi, l_{ЗВ});$$

$$\Phi_{V_{H.б}} = \frac{V_{H.б}}{V_K} = f_2(X_K, Y_K, \psi, l_{ЗВ}),$$

где  $V_H$ ,  $V_{H.б}$ ,  $V_K$  – скорости напора, перемещения несущей балки и копания соответственно;  $X_K$ ,  $Y_K$  – координаты точки  $K$  (вершины режущей кромки ковша);  $\psi$  – угол наклона касательной к траектории перемещения ковша;  $l_{ЗВ}$  – геометрические размеры звеньев.

На основе математической модели передаточного механизма разработана имитационная модель процесса экскавации и проведен вычислительный эксперимент.

Экспериментирование с помощью модели тождественно нахождению значений выходных характеристик при заданных значениях входных переменных и постоянных аргументов, т. е. подстановке в алгоритм конкретных чисел и расчету по формулам. Перебор вариантов решений производится с заданным шагом варьирования. В ходе просчета и калибровки математической модели накапливается информация о функциональных возможностях различных структурных схем рабочего оборудования. Таким образом, имитационное моделирование состоит в многократном воспроизведении функционирования (поведения) исследуемой системы на основе математической модели. Результаты имитационного моделирования представляют собой набор величин, характеризующих исследуемый процесс.

На рис. 2 приведены графики скоростей рабочих движений (скорости напора  $V_H$  и перемещения несущей балки  $V_{H.б}$ ) и окружных сил  $F_H$  и  $F_{H.б}$  в зацеплении кремальберных шестерен с рейками в механизмах напора и перемещения несущей балки при перемещении ковша по эквидистантным траекториям в процессе отработки экскаваторного забоя.

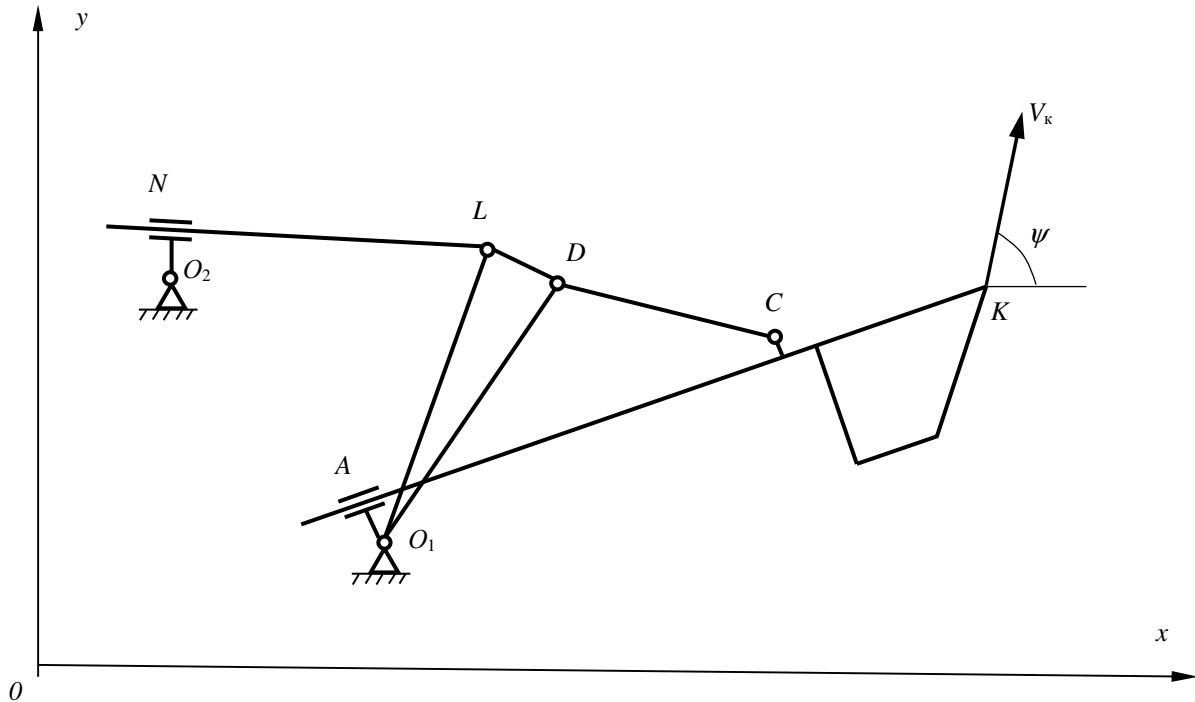


Рис. 2. Схема механизма рычажного рабочего оборудования:  
 $V_k$ ,  $V_{НБ}$ ,  $V_N$  – скорости копания (вершины режущей кромки ковша), несущей балки, напора;  $\psi$  – угол наклона касательной к траектории перемещения ковша

Разработанная методика расчета режимных параметров главных механизмов позволяет определить для любой точки в рабочей зоне экскаватора при заданных угле наклона касательной к траектории перемещения ковша и скорости копания необходимые значения скоростей рабочих движений из условия реализации заданной траектории.

**Заключение.** Полученные зависимости для определения скоростей рабочих движений могут быть использованы при разработке системы цифрового управления приводами главных механизмов карьерного экскаватора «Горный».

### Список литературы

1. Чулков Н. Н. Расчет приводов карьерных машин. М.: Недра, 1987. 196 с.
2. Frimpong S., Hu Y., Chang Z. Performancesimulation of shovel excavators for earth-moving operations // In Summer in computer simulation conference (SCSC'03). 2003. pp. 133 – 138.
3. Geu Flores F., Kecskemethy A., Pottker A. Workspace analysis and maximal force calculation of a face-shovel excavator using kinematical transformers. 12thIFTtoMMWorldCongress, Besancon, June 18-21, 2007. 6 pp.
4. Подэрни Р. Ю. Механическое оборудование карьеров. 6-е изд., перераб. и доп. М.: Изд. МГГУ, 2007. 680 с.: ил.
5. Гафурьянов Р. Г., Комиссаров А. П. Взаимосвязи режимных параметров главных механизмов карьерного экскаватора с технологическими параметрами процесса экскавации горных пород // Горное оборудование и электромеханика. 2010. № 6. С. 7 – 10.

6. *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.

7. Патент на полезную модель «Экскаватор «Горный» № 178976; опубл. 24.04.2018. Бюл. № 12.

8. *Комиссаров А. П., Лагунова Ю. А., Лукашук О. А., Плотников Н. С.* Новый тип рабочего оборудования карьерного экскаватора. Уголь. 2018. № 12 (1113). С. 27 – 29.

9. *Комиссаров А. П., Лукашук О. А., Плотников Н. С.* Технические и технологические особенности карьерного экскаватора «Горный» // *Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горно-шахтного и нефтепромышленного оборудования: Материалы V Междунар. науч.-практ. конф. «Горная и нефтяная электромеханика – 2018»*. Пермь, 15-18

10. *Плотников Н. С., Летнев К. Ю., Лукашук О. А.* «Обратимость» главных механизмов карьерного экскаватора при экскавации горных пород // *Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. трудов XIV Междунар. науч.-техн. конф. «Чтения памяти В. Р. Кубачека»*. Екатеринбург (12-13 апреля 2018): Изд-во УГГУ, 2018. С. 48 – 50.

11. *Плотников Н. С.* Определение режимных параметров главных механизмов карьерного экскаватора при экскавации горных пород // *Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. трудов XIV Междунар. науч.-техн. конф. «Чтения памяти В. Р. Кубачека»*. Екатеринбург (12-13 апреля 2018): Изд-во УГГУ, 2018. С. 58 – 62.

12. *Комиссаров А. П., Плотников Н. С.* Математическая модель механизма рабочего оборудования карьерного экскаватора «Горный» // *Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. трудов XVII Междунар. науч.-техн. конф. «Чтения памяти В. Р. Кубачека»*, 04-05 апр., 2019 г., г. Екатеринбург. Екатеринбург: УГГУ, 2019. С. 271 – 275.

УДК 621-192  
**АСПЕКТЫ КУЛЬТУРОЛОГИИ И ТЕХНОВЕДЕНИЯ  
В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕМ ПРОИЗВОДСТВЕ, ОСНАЩЁННОМ  
ПРОМЫШЛЕННЫМИ ДРОНАМИ**

Ткачева Т.А., доцент  
Московский политехнический университет, г. Москва

*На основе системного анализа рассмотрены аспекты культурологии и техно-ведения в горнодобывающем производстве, оснащаемом обслуживающими промышленными дронами. Показаны особенности увеличения получаемых данных и особенностями их обработки.*

*Ключевые слова:* обслуживающие промышленные дроны, полнота и обработка данных, автотранспортные средства, экскаваторы, стандарты.

**ASPECTS OF CULTURAL STUDIES AND TECHNO-  
MANAGEMENT IN MINING INDUSTRY EQUIPPED WITH  
MAINTENANCE INDUSTRIAL DRONES (OPD)**

Tkacheva T. A.

*Based on the system analysis, aspects of cultural studies and technology management in mining production equipped with industrial service drones are considered. The features of increasing the received data and the features of their processing are shown.*

*Keywords:* servicing industrial drones, completeness and data processing, vehicles, excavators, standards.

Системный анализ функциональных особенностей существующего уровня автоматизации (а сейчас принято говорить об интеллектуализации) как основного горного оборудования (ГО), так и компьютерных сетей показал неполноту управления в них [1]. И это в первую очередь связано с информационными потерями, отсутствием необходимых стандартов. Поэтому эпоха использования ОПД в горнодобывающей отрасли даёт возможность нового видения, как всего производства, так и развития региона, где расположено то или иное месторождение полезных ископаемых (МПИ) [2].



создают условия новой культуры совместной эксплуатации основного ГО, локальных и глобальных сетей для обработки поступающих от них данных с большей полнотой, объективностью и достоверностью (рис. 1).

Исследования возможных направлений культурологии в обновляемых горных технологиях

при применении ОПД показали важность деловых коммуникаций. Ведь

многократное увеличение полноты получаемой информации, в частности, при реализации погрузочно-разгрузочных работ на любом МПИ и описания коммуникаций нового семантического типа. Общая модель автоматизации погрузочно-разгрузочных работ неоднозначна в части «обработки данных», т.к. должны быть согласованы стандарты (предприятий (СТП), отраслевых, ГОСТ и ISO) на современное ГО (отечественное) и сети: локальные и глобальные, с используемыми в них серверами. ОПД могут собирать и передавать большой (в определённом смысле неограниченный) объём данных, но затем в сетях, строго стандартизированных она должна эффективно и качественно обрабатываться и предоставляться без потерь по соответствующим регламентам.

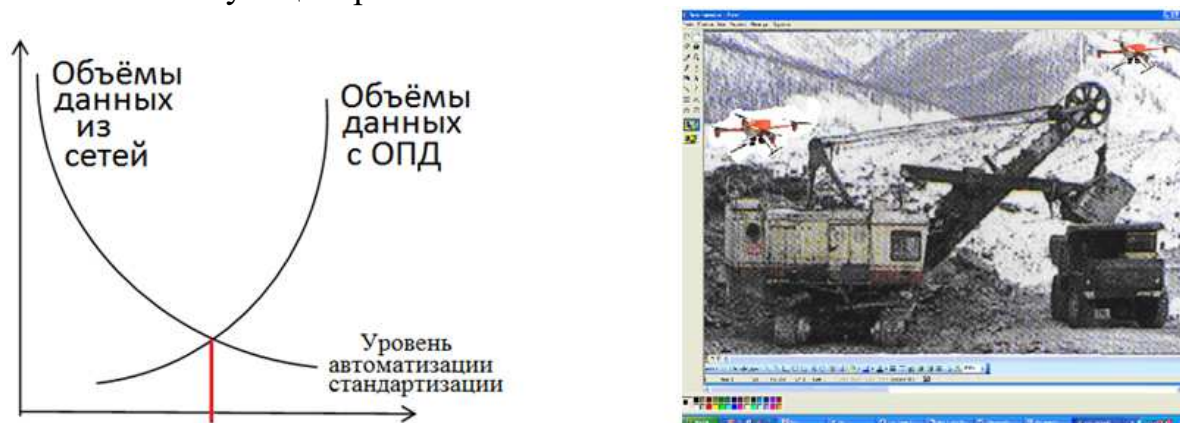


Рис. 2. Изменения показателей обработки данных с ОПД

Для согласованного использования информационных сетей и основного ГО на МПИ необходимо техно-ведение, представляемое в виде теоретических и практических расчётных исследований функционирования локальных и глобальных компьютерных сетей для ОПД, имеющих углубленное цифровое программное управление (У ЦПУ). Это позволяет для эффективной реализации технологий на карьерах (разрезах) горно-обогатительных комбинатов (ГОК), выявлять неполноту управления и обосновать необходимость разработки обновлённых, взаимодействующих систем управления ОПД с У ЦПУ. Такие системы автоматизации с управляющими воздействиями для ОПД с У ЦПУ, а в них не допускаются отклонения от программ и введено процессно-прецизионное управление ОПД как циклическое, так и спорадическое.

Так, например, ими циклически контролируется кусковатость горной массы, подлежащей экскавации при ведении погрузочно-разгрузочных работ на карьерах (разрезах) с высокой точностью (до долей миллиметра)). А спорадически контролируется состояние дорог для автотранспортных средств (АТС). Изученные особенности сетевого управления некоторыми ОПД с У ЦПУ, с которых получают текущие данные на горно-добывающих объектах (ГДО), представлены в виде некоторой факторизации (табл.1).

Таблица 1

№ п/п	Положительные факты	Отрицательные факты
1	Сеть Интернет – большой объём данных; объективность	Большие затраты; пониженная надежность
2	Локальная сеть – лучшая управляемость; высокая надежность	Меньший объём данных; меньшая объективность; информационные потери за счёт нестандартной настройки сервера сети
3	Глобальная сеть – меньшие затраты	Информационные потери за счёт нестандартной настройки серверов сети; снижение надежности

Нестандартные устройства и ОПД с У ЦПУ, например, в локальной сети с системой управления производством, позволяют решить следующие задачи: осуществление быстрой технической поддержки горнодобывающего производства; генерирования управляющих программ (УП); точного диагностирования состояния систем при эксплуатации, включая ГО; получение высоких коммерческих результатов; реализации высоко точное управление производством на горнодобывающих предприятиях.

### Список литературы

1. Ткачева Т.А. Концептуальность новых систем для добывающих отраслей промышленности. //Маркшейдерия и недропользование. № 1. 2016. С.15-17.
2. Материалы по промышленным дронам. INTERNET 2020.

УДК 622.232.7

## КОМБИНИРОВАННАЯ СХЕМА РАССТАНОВКИ РЕЗЦОВ ШНЕКОВОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА

Габов В.В., профессор, Нгуен В.С. (Вьетнам), аспирант, Задков Д.А., доцент  
ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург

*В статье рассмотрена возможность повышения эффективности отделения угля от массива совершенствованием схем расстановки резцов шнековых исполнительных органов. Повышение эффективности процесса резания, при существующих конструктивных ограничениях радиального вылета резцов и толщины срезов, достигается использованием комбинированных схем расстановки резцов с групповыми срезами. Рассматриваются энергоэффективные подрезные, парные и групповые срезы с большей площадью сечений по сравнению с одиночными срезами и, следовательно, с большей крупностью отделяемых кусков угля, с меньшим удельным расходом энергии и выходом пыли.*

**Ключевые слова:** уголь, очистной комбайн, исполнительный орган, резец, типы срезов, схема расстановки резцов, эффективность.

## THE COMBINED CIRCUIT INSTALLATION OF THE CUTTERS SCREW EXECUTIVE BODY

Gabov V.V., Nguyen V.X., Zadkov D.A.

*The article considers the possibility of increasing the efficiency of separating coal from the array by improving the placement schemes of the cutters of screw executive bodies. Increasing the efficiency of the cutting process, with the existing design restrictions of the radial departure of the cutters and the thickness of the sections, is achieved by using combined schemes of placement of the cutters with group sections. We consider energy-efficient undercut, paired and group sections with a larger cross-section area compared to single sections and, consequently, with a larger size of the separated pieces of coal, with less specific energy consumption and dust output.*

**Keywords:** coal, shearer, executive body, cutter, types of cuts, pattern of arrangement of cutters, efficiency.

Узкозахватные комбайны со шнековыми исполнительными органами получили в настоящее время наиболее широкое распространение в процессах добычи угля в комплексно-механизированных очистных забоях (КМОЗ) угольных шахт. Ими оснащены почти все выпускаемые механизированные комплексы, применяемые для добычи угля на пластах средней мощности и мощных с углами залегания до 35° [1].

Известно, что основными достоинствами шнековых исполнительных органов являются возможность самозарубки в пласт на новую полосу выемки косыми заездами, простота регулирования положения шнеков по мощности пласта, совмещение функций отделения угля от массива и погружки его на конвейер, надежность и долговечность. В практике работы КМОЗ на пластах средней мощности и мощных им на ближайшее будущее альтернативы не предвидится.

Однако, по основным критериям эффективности (производительность,  $Q$ , т/мин, удельный расход энергии,  $H_w$ , кВт.ч/т, гранулометрический состав,  $W_{-d}$ , %) процессу отделения угля от массива шнековыми исполнительными органами свойственны существенно значимые недостатки:

в номинальном режиме работы в общей массе добытого угля более 40 % объема составляет уголь мелких классов; относительно высокий удельный расход энергии; повышенное пылеобразование и большие затраты на осаждение, нейтрализацию и уборку образующейся в процессе резания взрывоопасной и пожароопасной угольной пыли [2-4]. С повышением интенсивности процесса отделения угля от массива эти недостатки проявляются еще более существенно.

Поэтому поиск более эффективных способов отделения угля от массива и соответствующих технических решений, обеспечивающих устранение или уменьшение влияния перечисленных недостатков применительно к шнековому исполнительному органу, являются актуальными.

Идея повышения эффективности процесса резания заключается в использовании, наряду с последовательными и шахматными срезами, более энергоэффективных подрезных, парных и групповых срезов, а также комбинированных последовательно-групповых схем расстановки резцов на исполнительных органах [5, 6].

В зависимости от значений толщины ( $h$ ) и ширины ( $t$ ) срезов, их соотношений, а также от расположения поверхностей обнажения разрушаемого массива процесс резания будет протекать в различных условиях [7-11]. В практике оснащения резцами исполнительных органов очистных комбайнов наиболее часто используются последовательный срез (рис. 1, а) и последовательная схема расстановки резцов.

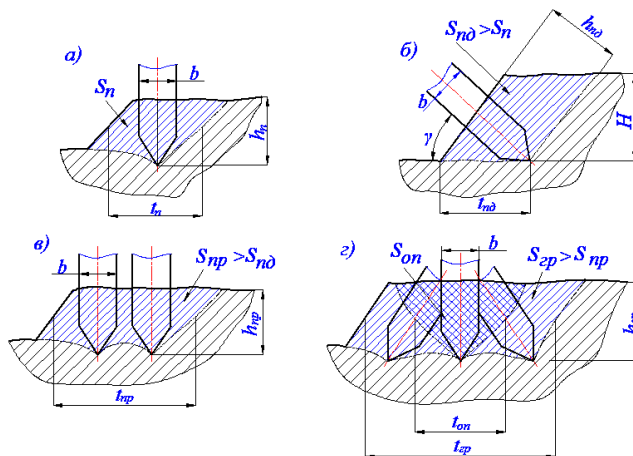


Рис. 1 – Сечения срезов (а – последовательный; б – подрезной; в – парный; з – групповой).  $S_n$  – площадь сечения последовательного среза;  $S_{nd}$  – площадь сечения подрезного среза;  $S_{np}$  – площадь сечения парного среза;  $S_{on}$  – площадь сечения опережающего среза;  $S_{gp}$  – площадь сечения группового среза;  $h_n$  – толщина последовательного среза;  $h_{nd}$  – толщина подрезного среза;  $h_{np}$  – толщина парного среза;  $h_{gp}$  – толщина группового среза;  $t_{nd}$  – ширина подрезного среза;  $t_{on}$  – ширина опережающего среза;  $t_{gp}$  – ширина группового среза;  $b$  – диаметр резца

Последовательный срез характерен наличием двух плоскостей обнажения и сопровождается односторонним развалом борозды среза. Поверхность забоя после срезов не является выровненной. При этом процесс отделения угля или породы от массива устойчив, с малой вероятностью вы-



хода негабаритов и рекомендуется для разработки весьма прочных, вязких и даже особо прочных угольных пластов. Этот тип среза принят в качестве исходного (базового) для сравнения далее с ним исследуемых подрезного, парного и группового срезов и соответствующих схем расстановки резцов. Исследуемые срезы по форме их сечений, условиям среза и по наличию плоскостей обнажения (рис. 1) подобны последовательному срезу.

Подрезной срез формируется при перемещении резца вдоль уступа высотой  $H$  с двумя плоскостями обнажений и наклоне оси резца к поверхности забоя под углом  $\gamma$  (рис. 1, б), близким к  $90^\circ$ , сопровождается односторонним развалом борозды среза. Поверхность забоя после срезов не является выровненной. Высота уступа  $H$  может быть несколько большей, чем толщина последовательного среза ( $t_n$ ) (см. рис. 1, а, б), а удельный расход энергии ( $H_w$ ) несколько меньший, чем удельный расход энергии при последовательном срезе.

Парный срез (рис. 1, в) формируется двумя одинаковыми по размеру сближенными резцами, установленными без опережения и параллельно друг другу [12]. Условия среза характерны наличием двух поверхностей обнажений. Срез сопровождается односторонним развалом борозды среза, отличается формированием единой критической подрезцовой зоны напряжений в массиве, обуславливающей более крупные элементарные сколы [2] и большую ширину борозды парного среза ( $t_{np}$ ):

$$t_{np} = 2t_n \cdot k_{np}, \quad (1)$$

где  $t_n$  – ширина последовательного среза, мм;  $k_{np}$  – коэффициент ширины парного среза,  $k_{np} = 0,8 \div 0,9$ .

Групповой срез (рис. 1, г) формируется радиальными или тангенциальными одинаковыми по размеру резцами. Условия среза характеризуются наличием, как правило, двух поверхностей обнажений. Срез сопровождается односторонним или двусторонним развалом борозды среза, в зависимости от схемы расстановки резцов на исполнительном органе, и отличается от последовательного и парного срезов, при одинаковой их толщине, большими шириной и площадью сечения группового среза. Групповой срез обеспечивает выход более крупных фракций при добыче угля, снижение объема выхода пыли и удельного расхода энергии.

#### **Выводы:**

1. Традиционные схемы расстановки резцов на шнековых исполнительных органах очистных комбайнов уже не соответствуют современным требованиям по гранулометрическому составу, удельному расходу энергии и выходу мелких классов угля и пыли.

2. Повышение эффективности отделения угля от массива шнековыми исполнительными органами очистных комбайнов может быть достигнуто комплексным техническим решением, включающим:

– использование в схемах расстановки резцов, обеспечивающих энергоэффективные виды срезов: подрезные, парные и групповые;

– обоснование рациональных последовательно групповых схем расстановки резцов на шнековых исполнительных органах.

### Список литературы

1. Солод В.И. Зайков В.И., Первов К.М. Горные машины и автоматизированные комплексы. // М. Недра. 1981, –502с.
2. Позин Е.З. Меламед В.З., Тон В.В. Разрушение углей выемочными машинами. // М. Недра. 1984, –288с.
3. Захаров Ю.Н. Щерба Т.П. Повышение эффективности процесса выемки сильвинита путем скалывания межрезцовых целичков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. № 3. С. 81-84.
4. Лагунова Ю.А., Комиссаров А.П., Шестаков В.С. и др. Горные машины. Энциклопедия. Т. IV-24. М.: Машиностроение, 2011. 493 с.
5. Патент РФ 190549, 03.07.2019. Габов В.В., Нгуен В.С., Нгуен К.Л., Лыков Ю.В. Шнековый исполнительный орган. 2019. Бюл. №19.
6. Габов В.В., Нгуен В.С., Задков Д.А., Ключник И.Д., До Д.Ч. Схема расстановки резцов на шнековых исполнительных органах с подрезными, парными и групповыми срезами // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 1 (специальный выпуск 4). – С. 3–14. DOI: 10.25018/0236–1493–2020-1-4-3-14.
7. Солод В.И. Гетопанов В.Н., Рачек В.М. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов. М.: Недра. 1982, –350 с.
8. Берон А.И. Казанский А.С., Лейбов Б.М., Позин Е.З. Резание угля. // М.: Госгортехиздат. 1962, –439 с.
9. Yilmaz N.G., Yurdakul M., Goktan R.M. Prediction of radial bit cutting force in high-strength rocks using multiple linear regression analysis // Int J Rock Mech Min Sci 44(6), 2007, 962–970pp.
10. Yasar S., & Yilmaz, A. O. (2018). Drag pick cutting tests: A comparison between experimental and theoretical results // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering.
11. Bao R.H., Zhang L.C., Yao Q.Y., Lunn J. (2011). Estimating the Peak Indentation Force of the Edge Chipping of Rocks Using Single Point-Attack Pick // Rock Mechanics and Rock Engineering, 44(3), 339–347.
12. Inyang H.I. (2002). Developments in drag bit cutting of rocks for energy infrastructure // Int J Surf Min Reclam Environ 16(4): 248–260.

## **МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК**

*Чтоб из масс,  
«N-содержащих»,  
Зёрна ценные извлечь,  
В цепь событий предстоящих  
Труд машин сих должен лечь!*

**Доц. П.А. Жиганов**

УДК 622.7:658.274

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МЕХАНИЗМА СЕПАРАТОРА ДЛЯ УДАРНОГО РАЗРУШЕНИЯ КУСКОВ СУЛЬФИДНОЙ РУДЫ

Афанасьев А.И., проф., Потапов В.Я., проф., Стожков Д.С., стар. пр.,  
Потапов В.В., доц., Медведев А.И. асс.

Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

*В статье приведены результаты исследований электрообработки на дробимость бедной сульфидной руды на экспериментальной установке. Представлены графики зависимостей относительной энергии разрушения от энергии единичного удара и уравнения регрессии, связывающее относительную энергию разрушения*

*Ключевые слова:* электрообработка, энергия удара, дробимость, магнитно-индукционный ударник, уравнение регрессии, сульфидная руда

## ESTIMATION OF EFFECTIVENESS OF THE SEPARATOR MECHANISM FOR SHOCK DESTRUCTION OF SULFURE ORE PIECES

Afanasyev A.I., prof., Potapov V.Ya., prof., Stozhkov D.S., old. etc.,  
Potapov V.V., Assoc., Medvedev A.I. ass.

*The article presents the results of studies of electric processing for the crushing ability of poor sulfide ore in an experimental setup. The graphs of the dependences of the relative fracture energy on the energy of a single impact and the regression equation relating the relative fracture energy are presented.*

*Keywords:* electric processing, impact energy, crushability, magnetic induction hammer, regression equation, sulfur ore

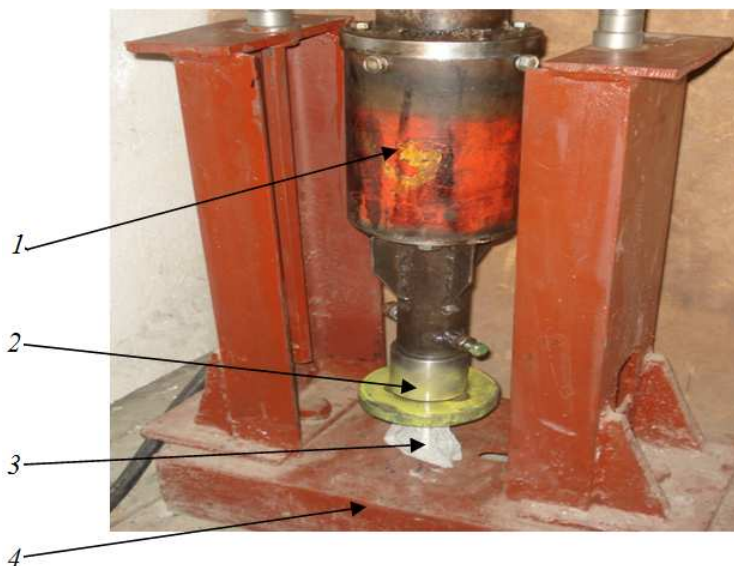
Дробление и измельчение минерального сырья являются относительно энергоемкими процессами. Они потребляют почти пятую часть всей вырабатываемой электроэнергии [1].

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 [8]. В горной промышленности США на дробление и измельчение расходуется 29,3 млрд. кВт·ч электроэнергии в год [3]. Это составляет около 45% всей потребляемой горной промышленностью США электроэнергии.

Проблемами ресурсосбережения занимался чл.-корр. АН СССР В.И. Ревнивцев [4, 5, 6] в семидесятых годах XX века. Снижение материалоемкости и энергоемкости процессов дробления и измельчения он видел, главным образом, в разработке устройств направленного воздействия на горную породу с целью уменьшения ее прочности, что приводит к увеличению степени раскрытия зерен полезных минералов. Это же предлагает академик Чантурия В.А. [7]. При переработке бедных руд для обеспечения не переизмельчения исходного материала заменить процессы дробления и измельчения в извест-

ных дробилках и мельницах на процессы избирательного разрушения по границам вкраплений полезного компонента.

Исследование влияния электрообработки на дробимость бедной сульфидной руды производилось на экспериментальной установке, разработанной и изготовленной в УГГУ. На (рис. 2) приведен магнитно-индукционный ударник для ударного разрушения кусков сульфидной руды.



*Рис. 2. Магнитно-индукционный ударник: 1- корпус (статор); 2- рабочая часть ударника; 3 - кусок горной породы; 4 - рама установки*

Электрической обработке подвергались куски забалансовой руды крупностью – 60 + 20 мм со средним содержанием меди 0,6 %. Ток через кусок пропускался в двух направлениях (по максимальному и среднему размеру) в течении 0,3...0,5 с. Величина энергии удара устанавливалась в зависимости от максимального размера куска. В табл. 1 приведены характеристики руды и процесса её разрушения [9,10].

Относительная энергия разрушения сульфидов определялась по формуле

$$E_{op} = E / (i \cdot m) \quad (1)$$

где  $m$  - масса куска руды, кг.

Эффективность процесса разрушения определяется по степени и энергоёмкости дробления. Однако данные таблицы показывают, что характеризовать эффективность процесса разрушения по одному показателю (отношению энергии разрушения к массе куска или степени дробления) не вполне адекватно. Обычно чем больше степень дробления, тем больше удельные затраты энергии. Поэтому, по нашему мнению, эффективность процесса дробления целесообразно оценивать отношением удельной энергии разрушения к степени дробления, т. е. относительной энергии разру-

шения. Чем меньше относительная энергия разрушения, тем совершеннее в конструктивном исполнении машина и эффективнее процесс.

Таблица 1

Параметры процесса разрушения бедной медно-цинковой руды

№ п.п	Средневзвешенный размер кусков до дробления, $d_l$ , мм	Степень дробления, $i$	Энергия удара, $E$ , Дж	Удельная энергия разрушения, $E/m$ , кДж/кг	Относительная энергия разрушения, $E_{op}/i$ , кДж/кг
1	28	2,16	60	1,33	0,62
2	33	3,75	75	1,67	0,45
3	41	3,6	104	1,40	0,39
4	49	3,8	139	1,10	0,29
5	56	3,1	184	0,78	0,25
6	80	1,87	240	0,48	0,26

На рис. 3 приведена зависимость относительной энергии разрушения от энергии удара.

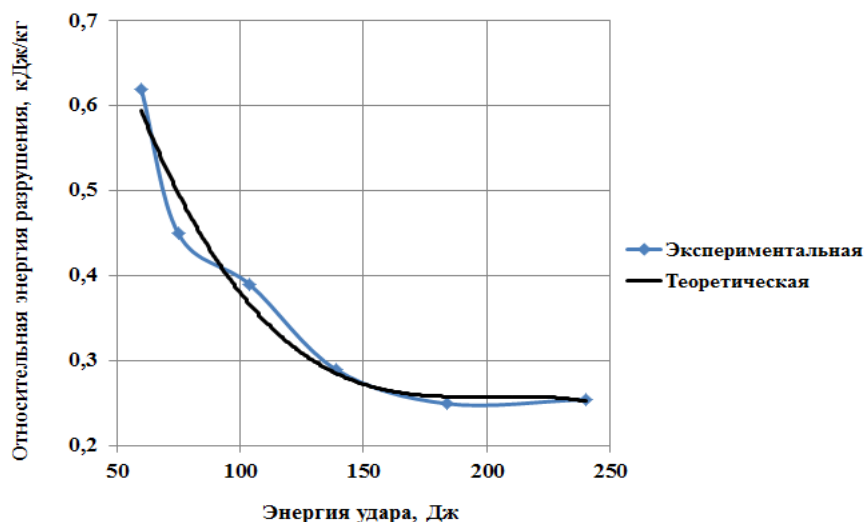


Рис. 3. Зависимость относительной энергии разрушения от энергии единичного удара

После статистической обработки результатов эксперимента получено уравнение регрессии, связывающее относительную энергию разрушения ( $E_{op}$ , кДж/кг) с энергией единичного удара:

$$E_{op} = -1E^{-7} E_y^3 + 7E^{-5} E_y^2 - 0,0146E_y + 1,234, \quad (2)$$

где  $E_y$  – энергия удара, Дж.

Относительно большая величина корреляционного отношения ( $R^2 = 0,97$ ) свидетельствует о наличии взаимосвязи энергии единичного удара и относительной энергии разрушения. Регрессионное уравнение адекватно отражает реальный процесс при изменении энергии удара от 50 до 200 Дж.

На рис. 4 приведен график зависимости энергии удара от средневзвешенного диаметра куса электрообработанной руды.

Уравнение регрессии имеет вид:

$$E_y = 3,6d - 39,2, \quad (3)$$

где  $d$  - средневзвешенный диаметр куса сульфидной руды, мм.

Величина корреляционного отношения ( $R^2 = 0,98$ ) свидетельствует о наличии взаимосвязи энергии единичного удара и средневзвешенного диаметра куса. Регрессионное уравнение адекватно при изменении крупности кусков от 20 до 80 мм.

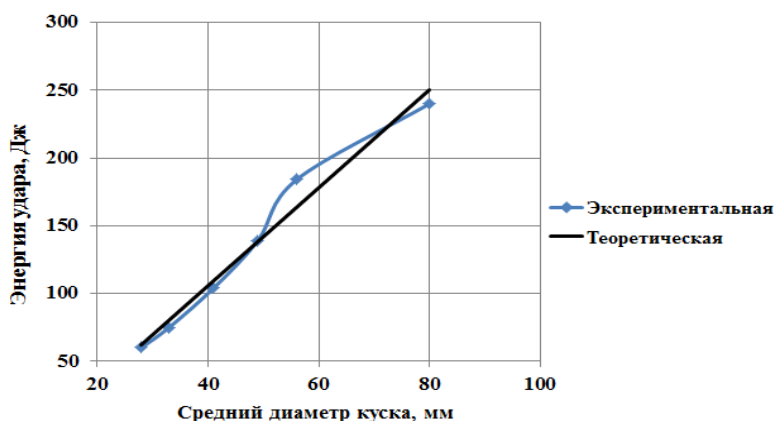


Рис. 4. Зависимость энергии удара от средневзвешенного диаметра куса

#### Выводы:

1. Установлена взаимосвязь относительной энергоемкости разрушения ударом бедных сульфидных руд, гранулометрического состава и величины энергии единичного удара, что позволяет определить основные параметры ударного устройства.

2. Оценку эффективности процесса разрушения кусков сульфидной руды целесообразно производить по отношению удельной энергии к степени дробления. Она уменьшается с увеличением среднего диаметра куса.

3. Электрообработка бедной сульфидной руды приводит к сокращению объемов перерабатываемой горной массы в 2,3 раза, уменьшению относительной энергии разрушения в 1,3 раза и соответствующему уменьшению непроизводительных затрат энергии на дробление.

4. Электрообработка позволяет увеличить выход мелких классов и, соответственно, вскрытие вкраплений сульфидов, что в дальнейшем позволит повысить извлечение полезных ископаемых.

#### 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.1986 г. - 52с.
4. Ревнивцев В. И. Задачи научно-исследовательских и опытно-конструкторских организаций по совершенствованию рудоподготовки. Обогащение руд, 1977, № 6 (134), с. 4-7.
5. Ревнивцев В. И. Современные направления совершенствования развития рудоподготовки. - Совершенствование рудоподготовки, Ленинград, 1980, с. 3-7.
6. Ревнивцев В. И., Гапонов Г. В., Загорский Л. Г. и др. Селективное разрушение минералов. – М.: Недра, 1988, 256 с.
7. Чантурия В. А. Перспективы устойчивого развития горноперерабатывающей индустрии России. Москва, Горный журнал, №2, 2007, с. 2-9.
8. Ананьев П. П., Гончаров С. А., Тангаев И. А. Энергоемкость процессов добычи и переработки полезных ископаемых. - М.: Недра, 1986. - 231 с.
9. 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.
10. Стожков Д.С.. «разработка оборудования для предварительного разделения и дробления забалансовых сульфидных руд »: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Екатеринбург, 2020. – 16 с.



УДК 621.926/.927

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗДЕЛЕНИЯ СУЛЬФИДНОЙ РУДЫ НА ЭЛЕКТРОИНДУКЦИОННОМ СЕПАРАТОРЕ

Потапов В.Я., проф., Афанасьев А.И., проф., Стожков Д.С., стар. пр.,  
Потапов В.В., доц., Медведев А.И. асс.

Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

*Приведены результаты экспериментов с использованием теплового пробоя бедной сульфидной руды для разработки конструкций дробильно-размольного оборудования. Тепловой пробой сопровождается существенным уменьшением прочностных характеристик кусков руды что, соответственно, в дальнейшем приводит к снижению энергозатрат на дробление и измельчение и росту эффективности работы дробильно-размольного оборудования.*

*Ключевые слова:* тепловой пробой, дробление, измельчение, имитационная модель аппарата, электроиндукционный сепаратор.

## RESULTS OF SEPARATION OF SULFURE ORE ON ELECTRIC INDUCTION SEPARATOR

Potapov V.Ya., prof., Afanasyev A.I., prof., Stozhkov D.S., old. etc.,  
Potapov V.V., Assoc., Medvedev A.I. ass.

*The results of experiments using thermal breakdown of poor sulfide ore for the design of crushing and grinding equipment are presented. Thermal breakdown is accompanied by a significant decrease in the strength characteristics of ore pieces, which, accordingly, subsequently leads to a decrease in energy consumption for crushing and grinding and an increase in the efficiency of crushing and grinding equipment.*

*Keywords:* thermal breakdown, crushing, grinding, simulation model of the apparatus, electro-induction separator.

Измельчительное и сепарационное оборудование является основным оборудованием при подготовке горных пород к обогащению [1]. Вовлечение в переработку бедных сульфидных руд приводит к существенному увеличению объемов переработки горной массы, не содержащей полезного ископаемого и, соответственно, росту материальных и энергетических затрат [2]. Повышение экономической эффективности горнодобывающих предприятий, использующих дробильно-размольное оборудование, невозможно без разработки конструкций сепараторов для предварительного разделения горных пород, которые существенно уменьшают объемы переработки. Промышленных сепараторов использующих тепловой пробой бедной сульфидной руды в настоящее время нет. Тепловой пробой сопровождается существенным уменьшением прочностных характеристик кусков руды что, соответственно, в дальнейшем приводит к снижению энергозатрат на дробление и измельчение и росту эффективности работы дробильно-размольного оборудования [3]. В последнее время существенно выросла стоимость энергоносителей, что увеличило затраты горных предприятий на производство продукции.

На основании исследований физических свойств медно-цинковой руды установлено, что удельная проводимость может быть использована для разработки сепаратора для бедных сульфидных руд с одновременным

разупрочнением кусков, содержащих полезные компоненты, что в дальнейшем уменьшит энергоемкость дробления-измельчения (рис. 1).

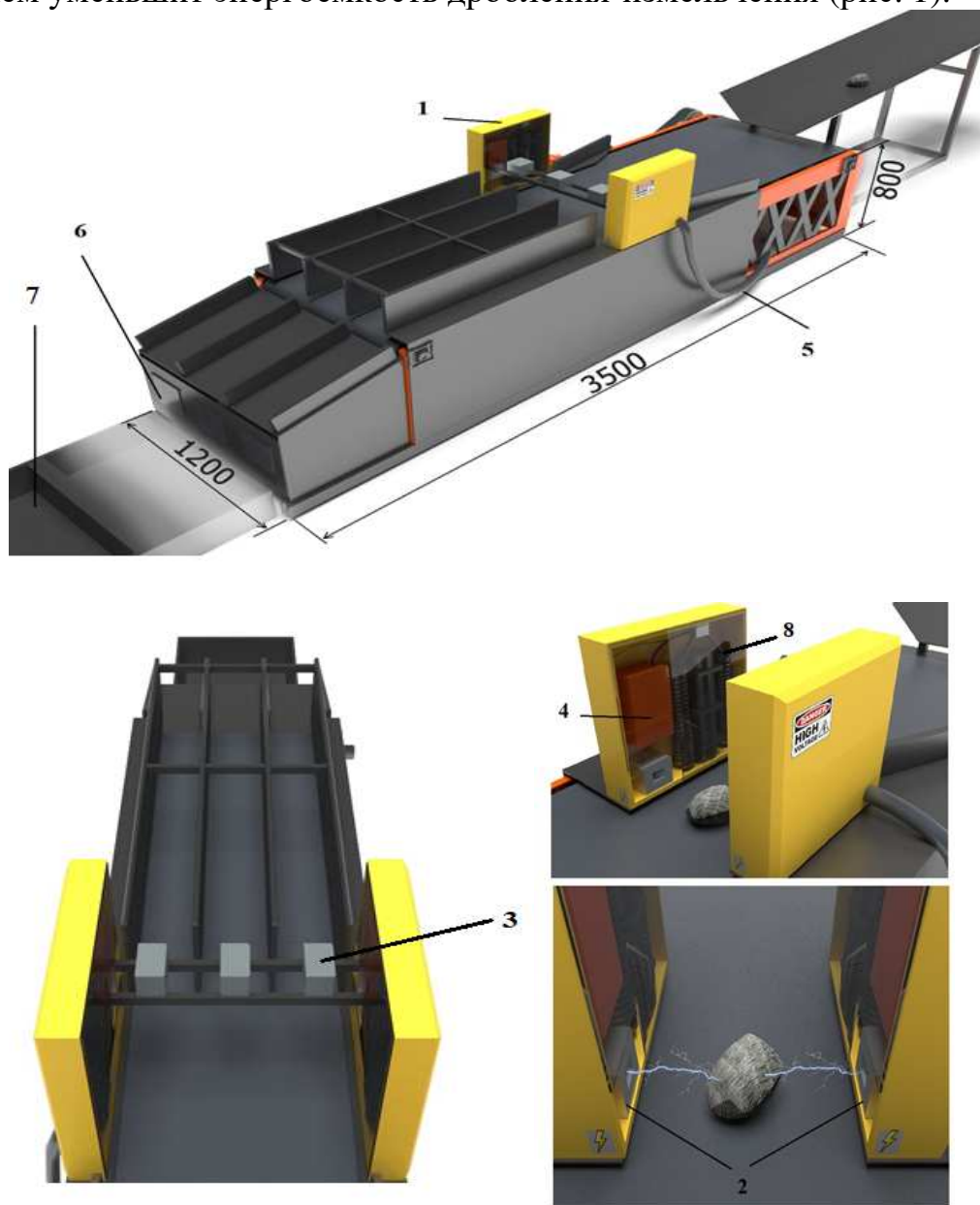


Рис. 1. Разработанный электроиндукционный сепаратор для бедных сульфидных руд с одновременным разупрочнением кусков, содержащих полезные компоненты: 1 - электроиндукционная камера; 2 - электроды; 3 - фотоэлементы; 4 - источник питания фотоэлементов; 5 - высоковольтный источник питания; 6 - исполнительный механизм; 7 - приемники продуктов разделения, 8 - генератор импульсов

Основные конструктивные и режимные параметры сепаратора для предварительного разделения и разупрочнения забалансовых сульфидных руд представлены в табл. 1.

При проведении экспериментов по разделению руды предложенным сепаратором (см. рис.1.) важным показателем при подготовке горной массы к измельчению является её гранулометрический состав. Для эксперимента была подготовлена проба руды крупностью –  $80 + 20$  мм, а затем проведена электрообработка. Вся масса разделилась на две части:

пробитую – масса 5,2 кг; непробитую – масса 6,6 кг. Затем обе пробы были раздроблены при постоянной энергии удара.

Таблица 1

Основные конструктивные и режимные параметры сепаратора для предварительного разделения и разупрочнения забалансовых сульфидных руд

п.	Параметры оборудования	Значения параметра	Единицы измерения
	Напряжения пробоя	8...9 кВ	кВ
	Скорость подачи материала в электродную камеру	0,38 м/с	м/с
	Энергия удара	350	Дж
	Количество ручьев при производительности 4 т/ч	3	
	Удельный расход энергии на разделение руды	9,78	кВт·ч/т
	Ширина ленты трехручьевого раскладчика при максимальном размере куска 80 мм	250	мм

Размер кусков забалансовой руды является случайной величиной. В результате статистической обработки установлено, что распределение кусков забалансовой руды в классе – 80 + 20 мм можно описать законом Вейбулла с параметрами  $a = 1,74, b = 3,2$ . Степень соответствия данного распределения закону Вейбулла производилась по критерию  $\chi^2$ . С надежностью 0,95 это распределение соответствует данному закону.

После дробления руды закон распределения размеров кусков руды изменяется, появляются мелкие классы и существенно уменьшается класс +20 мм.

Статистическая обработка результатов экспериментов показала, что распределение кусков забалансовой руды после дробления можно описать законом Рэля с параметром  $a=13,4$ . Степень соответствия данного распределения закону Рэля производилась по критерию  $\chi^2$ . Установлено, что с надежностью 0,95 это распределение соответствует данному закону.

Установлено, что степень дробления «пробитой» руды составила 3,75, а не обработанной – 2,94. Удельная энергия разрушения электрообработанной руды составила 1,67 кДж/кг, а необработанной – 2,21 кДж/кг, т. е. больше в 1,33 раза. Это можно объяснить тем, что при электрическом пробое куска между токопроводящими вкраплениями возникают существенные растягивающие напряжения и появляются трещины, т. е. происходит вскрытие зерен сульфидов. В дальнейшем при измельчении вскрытие зерен сульфидов позволит увеличить их выход. Приведенные результаты, , показывают, что электрообработка увеличивает содержание класса крупностью –10 мм на 7,6 % и уменьшает выход крупного класса + 20 мм на 27,3 %. В результате экспериментов было установлено, что куски горной

породы, не пробиваемые током, практически не содержат сульфидов. Их количество составило 56 % от общей массы пробы. При переработке бедной руды эти куски могут быть отброшены в хвосты. Сокращение объемов горной массы в 2,38 раза и уменьшение относительной энергии разрушения в 1,33 раза приведёт к соответствующему уменьшению производительных затрат энергии на дробление.

В дальнейшем «пробитая» руда разрушалась ударом и измельчалась в двухкамерной шаровой мельнице. Степень измельчения ( $i$ ) в шаровой мельнице за 20 минут работы в водопадном режиме составила:

- а) для «пробитой» руды  $i = 1,95$ ;
- б) для необработанной руды  $i = 1,25$ .

Таким образом, за 20 минут работы мельницы электрообработка практически в 1,5 раза увеличивает степень измельчения забалансовой руды.

Данные показывают, что электрообработка горной массы приводит к существенному возрастанию после измельчения выхода мелких классов, в которых, как правило, находятся сульфиды. В частности, выход класса – 0,15 мм возрос на 18,4 %, а выход класса + 5 мм сократился на 28,3 %. Таким образом, эти результаты свидетельствуют о существенном (как минимум на 18...20 %) снижении энергозатрат при измельчении электрообработанной забалансовой руды.

При заданной производительности мельницы увеличение выхода готового класса на 18 % эквивалентно снижению времени измельчения.

Для выявления связи содержания сульфидов с напряжением пробоя были подготовлены соответствующие образцы. Эксперименты проводились с образцами цилиндрической формы диаметром 16 мм и различной длины. Для обеспечения равномерности распределения сульфидов по образцу пустая порода и халькопирит измельчались до крупности – 0,5 мм. Затем смесь в определенных пропорциях смешивалась, помещалась в нетокопроводящий цилиндр и прессовалась до плотности ( $\rho = 2600...2900$  кг/м<sup>3</sup>), близкой к плотности забалансовой руды в естественном состоянии ( $\rho = 2680$  кг/м<sup>3</sup>).

При проведении эксперимента фиксировались напряжение и ток при пробое, а также размеры образца. На рис. 2 приведена зависимость удельного напряжения пробоя от содержания сульфидов.

В результате статистической обработки [4-6] получена зависимость удельного напряжения пробоя ( $U_y$ , кВ/см) от содержания сульфидов ( $\alpha$ , г/г) в куске забалансовой руды.

$$U_y = 29,9 \exp(-13,4[\alpha]). \quad (1)$$

Уравнение (1) адекватно ( $R^2 = 0,99$ ) отражает свойства горной породы при изменении содержания сульфидов в пределах от 0,1 до 0,4 г/г, что включает весь диапазон содержания сульфидов в забалансовых рудах.

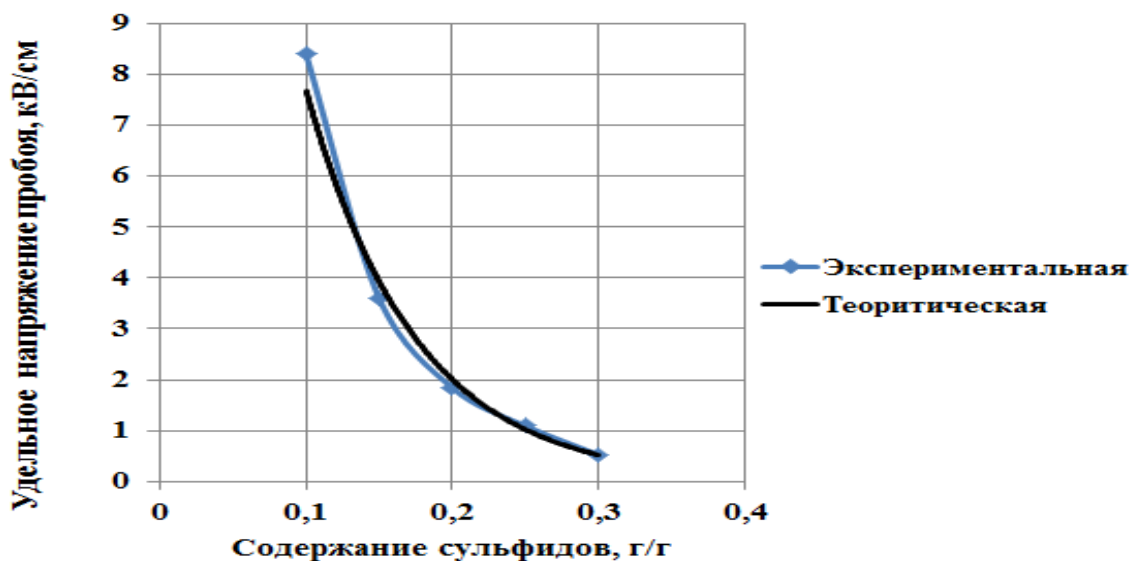


Рис. 2. Зависимость удельного напряжения пробы от содержания сульфидов

Уравнение (1) позволяет определить величину напряжения, необходимого для пробы кусков забалансовой руды с различным содержанием сульфидов в классе + 20 – 80 мм.

При содержании сульфидов в куске меньше 1 г/г напряжение пробы увеличивалось в несколько раз. Пустая порода не «пробивалась» при напряжении 200 кВ/см. Таким образом, эксперименты доказали возможность эффективного выделения в отвал пустой породы и разрушения сульфидных кусков для дальнейшей переработки.

### 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. Ананьев П. П., Гончаров С. А., Тангаев И. А. Энергоемкость процессов добычи и переработки полезных ископаемых. - М.: Недра, 1986. - 231 с.
3. Чантурия В. А. Перспективы устойчивого развития горноперерабатывающей индустрии России. Москва, Горный журнал, №2, 2007, с. 2-9.
4. Митропольский А. К. Техника статистических исследований. - М.: Наука, 1971. - 576 с.
5. Львовский Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул. - М.: Высшая школа, 1982. - 224 с.
6. Андерсон Т. Введение в многомерный статистический анализ. Перевод с английского Б. В. Гнеденко. - М.: Физматгиз, 1963. - 348 с.

УДК 622.231:622.928

## **ОБОСНОВАНИЕ УСЛОВИЙ И ПРИМЕНЕНИЕ ВИБРАЦИОННЫХ ПИТАТЕЛЕЙ И ГРОХОТОВ В КАРЬЕРНЫХ КОМПЛЕКСАХ ОЧИСТКИ КАРБОНАТНОГО СЫРЬЯ ОТ ГЛИНИСТЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ**

**Абдулкаримов М.К.**, ст. преп. УГГУ

*Актуальность работы обусловлена потребностью предприятий строительной отрасли в более качественной подготовке сырья, в повышении эффективности работы оборудования. Результаты. При простоте конструкции грохоты имеют низкую эффективность грохочения, требуют повышенной площади просеивающей поверхности, имеют значительные высотные габариты. Предложен вариант совершенствования неподвижных грохотов путем изменения конструкции просеивающей поверхности и придания ей свободных и вынужденных разноамплитудных колебаний.*

**Ключевые слова:** грохот колосниковый, питатель, просеивающая поверхность, колосник, амплитуда, частота колебаний.

## **SUBSTANTIATION OF CONDITIONS AND APPLICATION OF VIBRATION FEEDERS AND SCREENS IN CAREER COMPLEXES FOR CLEANING CARBONATE RAW MATERIALS FROM CLAY INCLUSIONS**

**Abdulkarimov M.K.**

*The relevance of the work is due to the need of the construction industry enterprises for better preparation of raw materials, to increase the efficiency of the equipment. Results. With the simplicity of design, the screens have low screening efficiency, require an increased area of the screening surface, and have significant height dimensions. A variant of improving stationary screens by changing the design of the screening surface and giving it free and forced different-amplitude vibrations is proposed.*

**Keywords:** grates, feeder, screening surface, grate, amplitude, oscillation frequency.

В последнее десятилетие для первичного разделения заглиненной горной массы (ГМ) получили распространение валковые грохоты с валками различного профиля (эллиптические, овальные, криволинейно-треугольные, пальчиковые). Грохоты изготавливают зарубежные фирмы HAZEMAG and GmbH и AUGUST MttLLER GmbH (Германия). Машины используются как в стационарных, так и в мобильных установках при содержании глины в ГМ не более 10 %. При сухом способе разделения ГМ могут быть применены различные устройства. В таблице 2 приведены рациональные условия применения питателей и грохотов [1].

Наиболее эффективными являются устройства, структура и грузочный модуль которых формируются на основе вибропроцессов, реализуемых в одной вибротранспортной машине (ВТМ) с совмещенными функциями питателя и грохота (питатель-грохот). Вибропитатель-грохот устанавливается непосредственно под бункером и работает под завалом.

Для разделения ГМ в условиях фабрик в основном применяют виброгрохоты различного типа. По данным технологического опробования Пятовского карьера, при сухом способе в подрешетный продукт колоснико-

вого грохота при ширине щели 150 мм извлекалось от 95,5 до 97,5 % комовой глины. А при грохочении подрешетного материала на виброгрохоте по классу 40 мм извлекалось от 95,2 до 88 % при содержании глины в сырье от 4,0 до 10,2 % [2].

Таблица 2. Исходные условия применения питателей и грохотов

Показатели условий эксплуатации	Тип питателей или грохотов					
	неприводной колосниковый грохот	пластинчатый питатель	качающийся питатель	валковый питатель-грохот с электрическими вальками	вибрационный питатель-грохот	
Производительность по исходному продукту, т/ч	до 2000	1000 (2000)	до 1000	до 3000	до 5000	
Эффективность грохочения, %	50-60	нет	нет	до 70	до 95	
Средняя металлоемкость, т	0,038	0,040	0,009	0,012	0,007	
Средняя энергоемкость, кВт*ч/т	-	0,15	0,015	0,020	0,011	
Наибольший размер принимаемого куска, м	до 1,0	до 1,2	до 1,0	до 1,0	до 1,2	
Крупность исходного продукта	<1 м	0	+	-	0	+
	до 1 м	+	+	0	+	+
Показатель подготовленности ГМ, $q_{0.4}$	> 0,8	+	-	-	0	+
	0,7-0,8	0	-	-	0	+
	0,5-0,7	-	-	-	0	+
	<0,5	-	+	+	-	+

В последние годы в нашей стране создан ряд сверхтяжелых вибрационных питателей-грохотов (тип ГПТ) для приема и разделения ГМ в условиях карьеров [1]. Машины типа ВТМ могут быть использованы и для переработки заглиненной горной массы. Вибрационные машины обеспечивают высокую эффективность процесса разделения за счет интенсивного подбрасывания материала в процессе вибротранспортирования. При высокой влажности полезных ископаемых и при наличии глинистых включений эффективность процесса на ВТМ может понизиться за счет налипания ГМ к плоскостям. Забивания межколосникового пространства могут повлечь

прекращение нормальной работы вибрационного грохота (если расстояние между колосниками до 50-80 мм) [3, 4].

Существенный научный и практический интерес представляют исследования, направленные на изучение возможности использования с целью эффективного разделения трудно-грохотимых материалов грохота с пространственным возбуждением просеивающей поверхности.

Использование вибрационного дебалансного самосинхронизирующегося привода позволяет создать достаточно простую конструкцию грохота, обладающую целым рядом положительных качеств: малой энергоемкостью, сложным характером движения просеивающей поверхности, способствующим интенсификации процесса самоочистки сита, с применением в качестве вибрационного привода простых в использовании мотор-вибраторов.

Отечественная промышленность грохоты для разделения заглиненной ГМ по фракциям  $\pm 40$ мм – не выпускает. В Германии, Франции, Польше накапливается опыт разделения заглиненной ГМ на валковых грохотах. Фирма AUGUS MULLER (Германия) разработала специальный валковый грохот пальчикового типа, который устанавливается в заключительных операциях разделения глины и известняка. В своих рекламных изданиях фирма сообщает, что грохоты используются для очистки сильно заглиненного известняка, прошедшего предварительную стадию обработки, имеют высокую эффективность разделения. В качестве исполнительного органа для разделения заглиненной ГМ рекомендуется вибрационный грохот с пальцеобразным ситом фирмы Tyssen Krupp FOrdertechnik. Просеивающая поверхность образована консольно заземленными упругими пальцами, расположенными в наклонном рабочем органе в виде десяти каскадов. Упругие колебания консольных пальцев и относительное перемещение их друг относительно друга позволяет не забиваться ситы при разделении глинистых и влажных материалов. [5]

На кафедре горных машин и комплексов УГГУ проводятся исследования в направлении создания вибрационного грохота с колосниковой просеивающей поверхностью для трудно-грохотимой ГМ [6, 7].

В отличие от серийного грохота типа ГИТ (грохот инерционный тяжелого типа) просеивающая поверхность (ПП) состоит из нескольких разнонаклонных каскадов. Каждый каскад состоит из рядов консольных упругих колосников, заземленных одним концом на поперечных связывающих балках рабочего органа. Сложные колосники каскада имеют различную угловую жесткость. Повышению эффективности выхода трудно-грохотимой ГМ способствует появление разноамплитудных колебаний смежных консольных колосников при их синфазном или противофазном околорезонансном движении при зарезонансном режиме колебаний рабочего органа.



Динамическая система грохота рассматривается как двухмассная колебательная система, включающая массу рабочего органа, колеблющегося под действием вибропривода на своих упругих опорах в зарезонансном режиме, и суммарную массу консольно заземленных колосников ПП, осуществляющих околорезонансные колебания за счет свойств упругости, материала, геометрии и конструктивного исполнения колосников.

Конструкция грохота и параметры колебательной системы защищены патентом РФ №188287.

На рис. 1 приведено техническое решение колосникового грохота с усовершенствованной ПП (патент РФ...). [69] Классификационно грохот можно характеризовать: с наклонным неподвижным РО, с двумя или несколькими разнонаклонными колосниковыми каскадами с непосредственным возбуждением ПП упруго опертой опоры каскада средствами мотор-вибраторов.

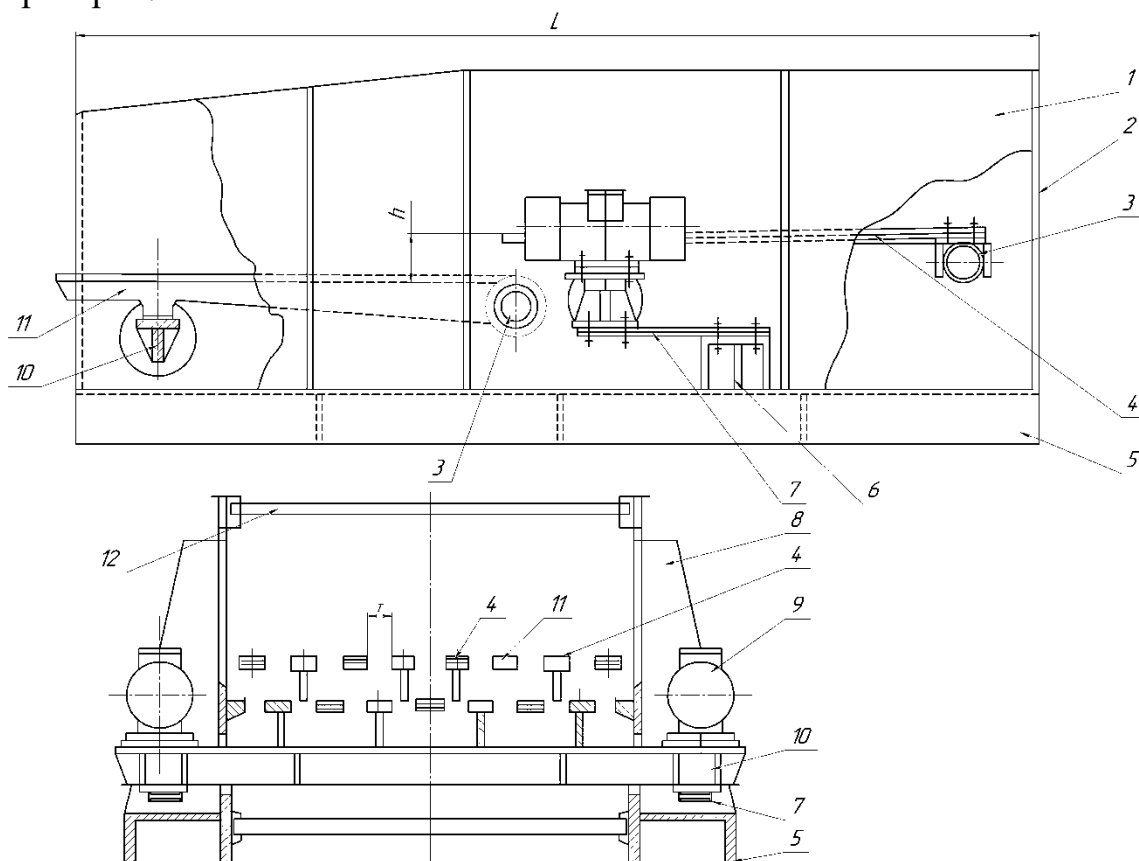


Рис. 1. Колосниковый грохот с подвижной просеивающей поверхностью (патент № 188287)

1- неподвижная бортовина; 2- стенка рабочего органа; 3- задняя (неподвижная) связка-балка; 4- консольный колосник (одноопорный); 5- опорная рама; 6- опора упругой системы; 7- упругая опора рессорного типа; 8- ребро бортовины; 9- мотор-вибратор направленных колебаний; 10- передняя (подвижная) связка-балка; 11- двухопорный колосник; 12- связка бортовин.

Грохот включает: неподвижные бортовины, опорную раму, каскадную просеивающую поверхность (ПП), заднюю и переднюю связка-балки, опоры связка-балки, колосники каскадов, мотор-вибратор и др..

Грохот загружается питателем. ПП грохота включает два или несколько каскадов и размещается между бортовинами. Каждый каскад опирается на связь-балки и включает два типа смежных колосников: двухопорные - опираются на обе связь-балки, консольные - закреплены только на задней связь-балке. Концы связь-балок вынесены за пределы бортовин, задняя - неподвижна и через шарнир опирается на раму, передняя связь-балка подвижна и опирается на упругую опору, закрепленную на раме. Таким образом, колосники ПП имеют возможность взаимного перемещения. При ударном взаимодействии с горной массой (ГМ) смежные колосники совершают свободные вертикальные колебания с различной амплитудой. При взаимном перемещении смежных колосников проявляется эффект изменения щели между колосниками, что способствует условиям выделения «трудных» фракций в подгрохотный продукт и увеличению эффективности грохочения, снижает вероятность забиваемости ПП.

При разделении трудно-грохотимой ГМ появляется необходимость придания ПП дополнительных, с заданной амплитудой, колебаний. Предложено установить с обеих сторон грохота на концах передних связь-балок каждого каскада синхронизирующиеся мотор-вибраторы для получения дополнительных колебаний. При этом двухопорные колосники, совместно с передней связь-балкой, выполняют расчетные вынужденные колебания в резонансном режиме, эффект изменения щели между смежными колосниками усиливается, следовательно, эффект грохочения возрастает.

### **Список литературы**

1. Юдин А.В., Мальцев В.А., Косолапов А.Н. Тяжелые вибрационные питатели и питатели-грохоты для горных перегрузочных систем. Екатеринбург 2009. 400с.
2. Ямщиков В.С. и др. Акустические способы очистки нерудных материалов строительные материалы. 1970 № 9. С.33-39.
3. Бульбашев А.П. и др. Безвзрывная селективная выемка сложно-структурных залежей // Горный журнал, 1996 № 11-12. С.70-76
4. Блехман И.И. О выборе основных параметров вибрационных конвейеров// Обогащение руд.1959, № 2. – С. 3-6.
5. Назаров К.С. Анализ конструкций вибрационных грохотов для классификации трудно-грохотимых материалов // ГИАБ. М.: Изд. МГГУ, 2006. 36с.
6. Юдин А.В., Шестаков В.С., Абдулкаримов М.К. Совершенствование просеивающей поверхности неподвижных грохотов и повышение эффективности разделения горной массы // Известия уральского государственного горного университета. Научно-технический журнал. Вып. 2(50). - 2018. - С 114-121
7. Юдин А.В., Шестаков В.С., Абдулкаримов М.К. Колосниковый грохот. Патент на полезную модель № RU 188287 U1. Заявка № 2018141948, дата регистрации в Государственном реестре полезных моделей РФ 04.04.2019, опубл. 04.04.2019 Бюл. № 10

УДК 621.926.22

## ПЕРСПЕКТИВНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ БАЗ ДАННЫХ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА КОНУСНОЙ ДРОБИЛКИ

Лагунова Ю.А., профессор, д.т.н., Ибраева Н.Р., аспирант  
Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

*Эффективное использование нейронных сетей в горных машинах, информационных и программных компонентах являются одной из баз технического состояния рабочего процесса оборудования в базе данных, что в дальнейшем позволяет создать оболочку, объединяющую автоматическое проектирование, моделирование и мониторинг текущего состояния машины с единым структурно связанным компонентом. Представленная в статье информация о конусной дробилке требует значительного упрощения и универсализации процесса создания баз данных. Систем для работы с нейронными сетями является очень важным и необходимым компонентом. Рассматриваются вопросы, направленные на изучение нейронных сетей с перспективным применением в горных машинах.*

**Ключевые слова:** конусные дробилки, нейронные сети, горные машины, прогнозирование, анализ работы, программный анализ.

## PROMISING APPLICATION OF NEURAL NETWORKS IN THE FORMATION OF DATABASES OF THE TECHNICAL STATE OF THE WORKING PROCESS OF A CONE CRUSHER

Lagunova, Yu. A., Ibrayeva N. R.

*Effective use of neural networks in mining machines, information and software components is one of the bases of the technical state of the working process of equipment in the database, which further allows you to create a shell that combines automatic design, modeling and monitoring of the current state of the machine with a single structurally related component. The information presented in the article about the cone crusher requires significant simplification and universalization of the database creation process. Systems for working with neural networks is a very important and necessary component. The paper considers issues aimed at studying neural networks with promising applications in mining machines.*

**Keywords:** cone crushers, neural networks, mining machines, forecasting, analysis of work, working process.

### Введение

В горной промышленности много усилий направленно для качественной и долговечной работы технологических машин. Создается база данных и программные обеспечения для контроля эксплуатации оборудования. Промышленные предприятия стали обращать большое внимание на использование программных услуг и разнообразного программного обеспечения как специального, так и общего назначения. Использование интеллектуальных технологий в последнее время резко возросло, а именно, анализ и обработка данных рабочего процесса оборудования с помощью применений нейронных сетей. Нужно заметить, что важным условием при использовании технологического оборудования является повышение ее производительности и наряду с этим стоит задача повышения надежности ее работы, которая, в свою очередь, невозможна без диагностики текущего

состояния работы оборудования и прогнозирования будущей эксплуатации.

Горное оборудование, как правило, работает в агрессивной среде с большими динамическими нагрузками, что во многих случаях приводит к преждевременному отказу. Применение нейронных сетей позволит оценить текущее состояние и существенно сократить время на поиск и устранение неисправностей, спрогнозировать – определить время наступления полного отказа и предотвратить его. Идея использования нейронных сетей для задач прогнозирования и диагностики заметно упрощает процесс оценки технического состояния объекта [1].

#### Задачи исследования:

- обосновать рабочий процесс конусной дробилки, применяя базу данных на основе нейронных сетей;
- разработать классификацию информационной модели и схему расчета надежности систем искусственных нейронных сетей (ИНС) рабочего процесса конусной дробилки с дальнейшим определением изменения режимов рабочего процесса КМД.

В настоящее время искусственные нейронные сети используются во многих областях, но прежде, чем их можно будет применять должны быть решены важные вопросы, касающиеся надежности их работы. В начале рассмотрим, что из себя на самом деле представляют ИНС.

Искусственные нейронные сети – единицы, получающие и передающие информацию. К нейрону поступают входящие сигналы, каждому из которых присвоен определенный вес. Сигнал умножается на свой вес, значения суммируются, и получается единое число, которое получает активационная функция. На выходе она принимает решение, транслировать ли сигнал дальше. Нейронная сеть программируется, чтобы решать три типа задач: сортировать, предсказывать и распознавать объекты и события.

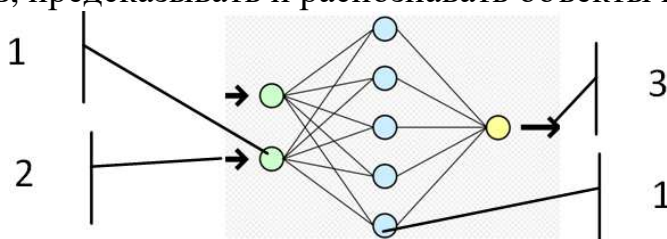


Рис.1 - Простая схема нейросети: 1- слои - уровни; 2, 3 - вход и выход.

Практически все научные работы по использованию ИНС в горной промышленности сосредоточены на диагностике и прогноз технического состояния горных машин. Важным аспектом при использовании ИНС является наличие достоверной информации о состоянии горного оборудования. Проектирование в нейронных системах является главным аспектом для переработки информации. База данных хранит всю необходимую информацию об оборудовании, программные компоненты, где создается

определенная зона для объединений алгоритмов нейронных клеток в единый контент для определения текущего состояния машины.

Любое технологическое оборудование можно разделить на элементы управления и элементы конструкции. В каждом таком узле машину можно рассматривать в обновленной топологии, которая продолжает конструкцию в её взаимодействии с рабочей средой и с другими узлами, позволяя рассматривать и управлять статическими и динамическими процессами.

**Новизной решения** применения нейронных сетей в нашем случае может выступать конструктивная схема конусной дробилки.

Конусные дробилки являются высокопроизводительными машинами и широко используются при переработке различных горных пород на всех стадиях дробления. По назначению разделяют конусные дробилки крупного (ККД), среднего (КСД) и мелкого (КМД) дробления.

Одним из эффективных методов, который позволяет исследовать рабочий процесс конусной дробилки (движение куска по камере дробления) и состояние основных её узлов в автоматическом режиме и принять соответствующие меры предупреждения о нештатном состоянии – являются нейронные сети на основе базы данных. Таким образом, разработка системы интеллектуальной нейронной сети для анализа параметров конусных дробилок, оценки возможности возникновения нештатной ситуации и (или) оценки текущего состояния рабочего процесса в камере дробления на основе поступающих сигналов от датчиков является актуальной и перспективной задачей.

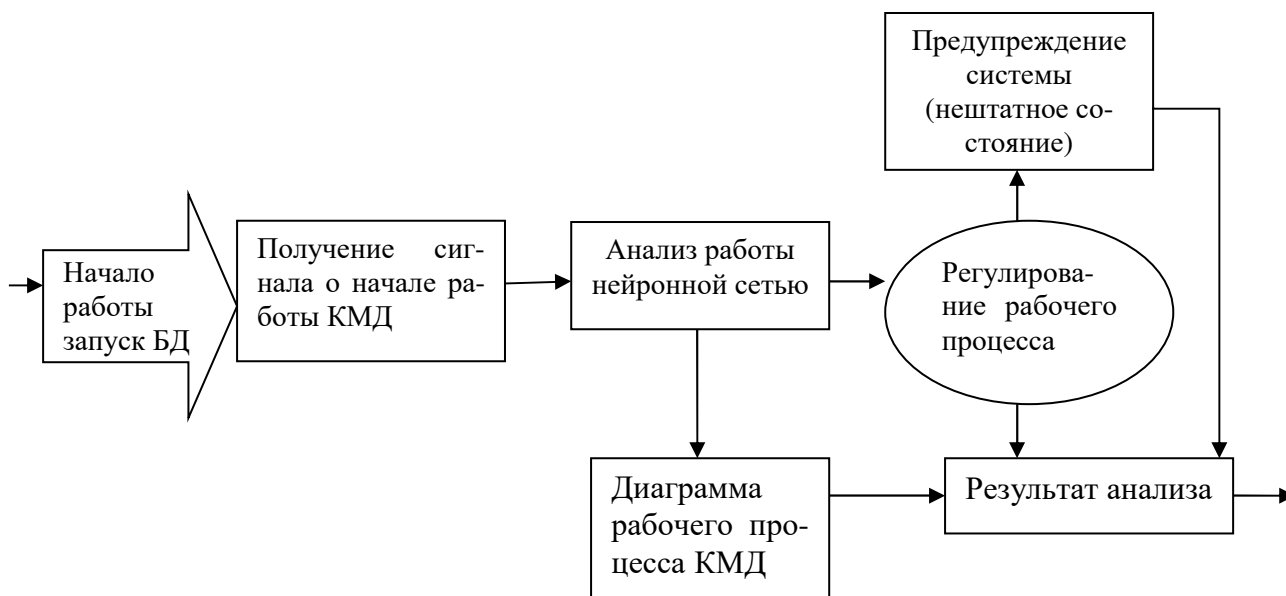


Рис.2 - Архитектура ИНС БД для получения результата анализа рабочего процесса КМД

Представлен пример реакции нейронной сети на входящие данные с КМД через БД относительно исходных параметров нормального состояния

и анализа нейронной сетью с дальнейшими результатами на выходном векторе.

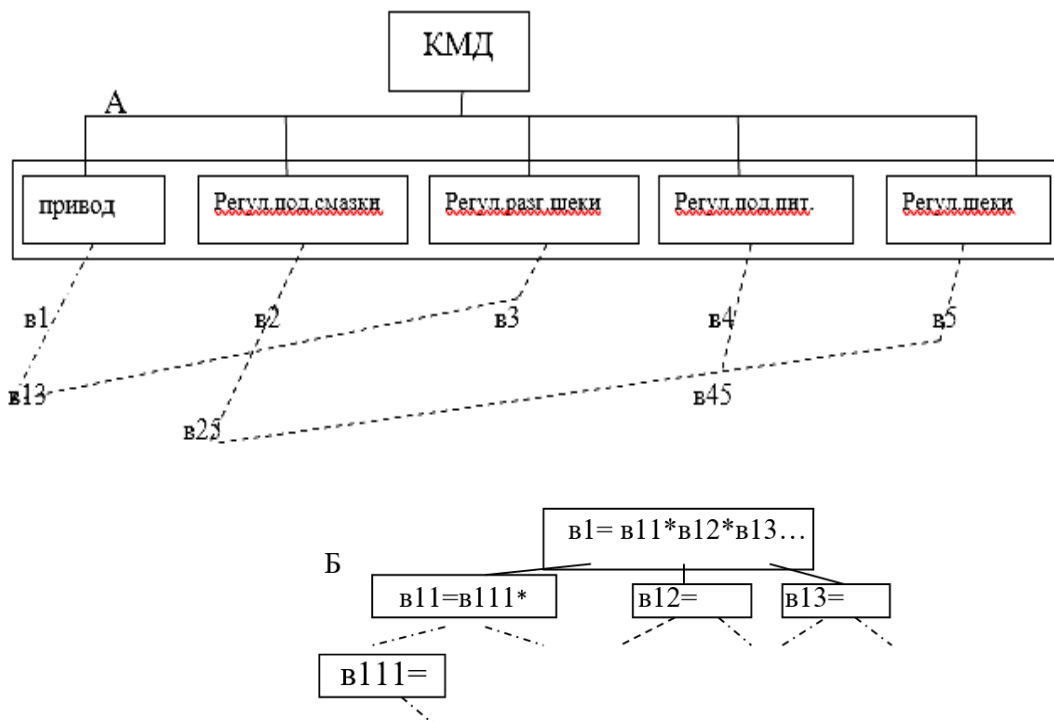


Рис.3 - А-Классификация информационной модели; Б-Схема расчета надежности систем.

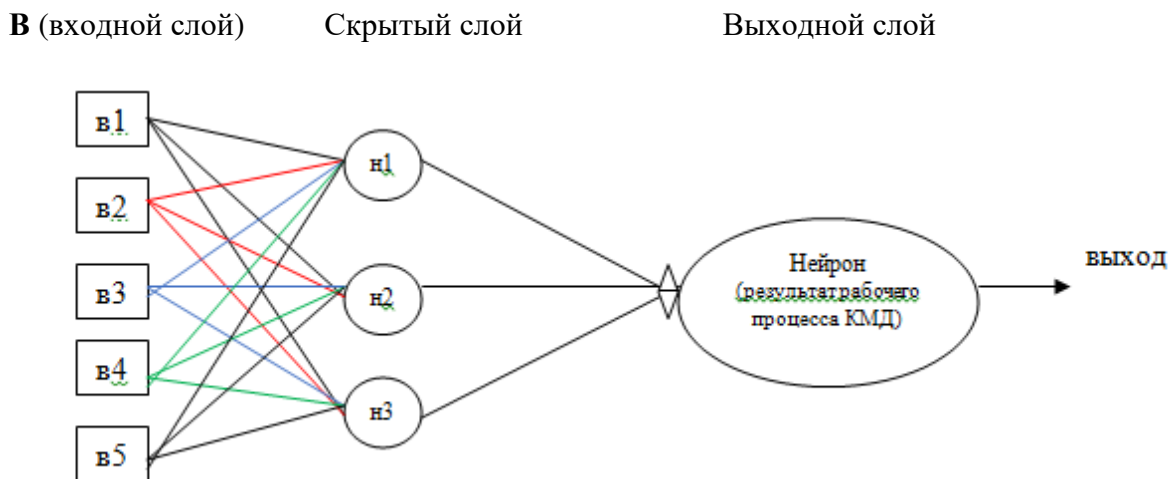


Рис.4-Искусственная нейронная сеть КМД для пяти входов с тремя нейронами в скрытом слое.

Содержание работы заключается в приведении информации об эксплуатации оборудования в соответствии с задачей прогнозирования. Весь объем информации, на основании которой строится прогноз системы, может быть представлен отдельными ситуациями. Каждая наблюдаемая ситуация представляется в обобщенном виде Базы Данных. Формирование архитектуры НС данных: количество входных нейронов сети, число

выходных нейронов соответствует числу прогнозируемых параметров системы.

Предлагаемое прогнозирование нейронной сетью и восстановления данных с помощью БД прямого распространения применяется при диагностике конкретной машины (в данном случае конусной дробилки) в режиме реального времени.

**Заключение.** Применение нейронных сетей для КМД на основе баз данных с многомерными классификациями объектов, позволяет:

- выдавать информацию о текущем состоянии технологического оборудования быстро и качественно;
- определить отклонения сигналов для предсказания возникновения ошибок в рабочем процессе;
- отслеживать процесс дробления, путем определения изменения динамического режима рабочего процесса, обеспечивать выбор режима функционирования, получить модель с минимальными погрешностями за счет внедрения в них моделирующих и прогнозирующих программ, которые имитируют то, что уже есть в механизмах, позволяют увидеть и то, что может быть, как прогноз на будущие периоды.

**Перспективы дальнейших исследований:**

1. Исследовать процесс мелкого дробления путем применения нейронных сетей, которая будет осуществлена путем изменения динамических режимов работы управляемых процессов, для получения исходных результатов.
2. Разработать интеллектуально-прогнозирующую модель процесса дробления, которая позволит снизить до минимума погрешности моделей рабочего процесса и повысит качество управления этими процессами с помощью нейронных сетей.

**Список литературы**

1. Лагунова Ю.А., Ибраева Н.Р. Повышение эффективности и безопасности дробилок путем применения систем интеллектуального управления /Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горно-шахтного и нефтепромыслового оборудования: материалы VI Международной научно-практической конференции "Горная и нефтяная электромеханика - 2019, Пермь, 21-24 октября /под ред. Г.Д.Трифанова, Г.З.Файнбурга. - Пермь: изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2019. С. 10-13.

УДК 621.73

## АНАЛИЗ НАГРУЗОЧНОГО ПРОЦЕССА ЩЕКОВОЙ ДРОБИЛКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ УПРОЩЕННЫХ МОДЕЛЕЙ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Майоров С.А., аспирант,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург

*Рассмотрена задача подбора более простой и «легкой» для программ ЭВМ модели подшипникового узла щековой дробилки, обеспечивающей точность в расчете напряженно-деформированного состояния в приемлемом диапазоне погрешностей. В расчетах использован метод конечных элементов. Использован специализированный программный пакет APM WinMachine. Проведен вычислительный эксперимент. Приведены математические модели металлоконструкций подшипников различного сечения и выявлены места наибольших напряжений.*

**Ключевые слова:** расчет на прочность металлоконструкции, подшипник, щековая дробилка, метод конечных элементов, APM WinMachine, модель, силовой расчет, нагрузка.

## ANALYSIS OF THE LOADING PROCESS OF THE JAW CRUSHER, USING SIMPLIFIED MODELS OF ROLLING BEARINGS IN THE CALCULATION

Mayorov S.A.

*The problem of selecting a simpler and "easier" for computer programs model of the bearing assembly of a jaw crusher, which provides accuracy in calculating the stress-strain state in an acceptable range of errors, is considered. In the calculations, the finite element method was used. Used specialized software package APM WinMachine. A computational experiment was conducted. Mathematical models of the metal structures of bearings of various sections are given and the locations of the highest stresses are identified.*

**Keywords:** strength analysis of metal structures, bearing, jaw crusher, finite element method, APM WinMachine, model, power calculation, loading.

Примем простую модель элементарного шарикоподшипника 210 ГОСТ 8338-75, дробилки ЩД 10М, производства фирмы ООО «ВИБРОТЕХНИК» для ускорения расчетов и снижения затрат времени на проектирование, при сохранении достоверности результата. На рисунке 1 представлена карта этого расчета.

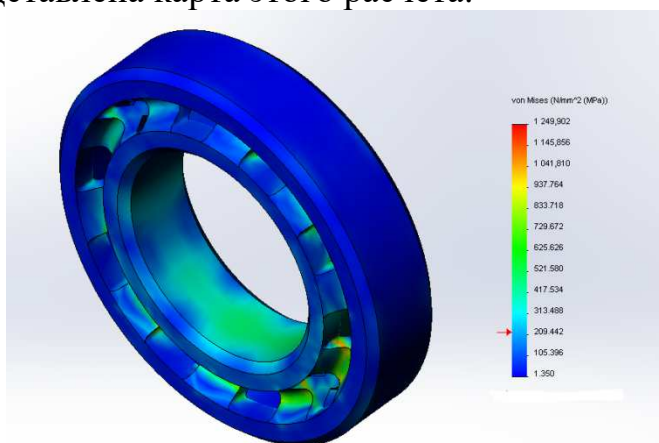


Рисунок 1 – Карта расчета подшипника 210 ГОСТ 8338-75.



Опираясь на проведенный вычислительный эксперимент, было принято решение провести аналогичный анализ для более сложного подшипника 23196 САКW33, используемого в дробилке ЩДС 12x15 производства ПАО «Уралмашзавод», с целью проверки и доказательства работоспособности метода формирования модели [1]. Подшипник 23196 САКW33 является сферическим, роликовым, самоустанавливающимся с габаритными размерами 480x790x248 (внутренний диаметр x наружный диаметр x ширина). Эта модель по сравнению с подшипником 210 ГОСТ 8338-75 более сложная в исполнении, «тяжелая» для персонального компьютера, а также подразумевающая более долгий процесс расчета из-за сложной формы, при учете «тяжести модели». Модель подшипника, см. рисунок 2, не входит в ГОСТ и содержится далеко не во всех стандартных базах изделий, предназначенных для того или иного программного обеспечения. Карта расчета этого подшипника, так же представлена на рисунке 2.

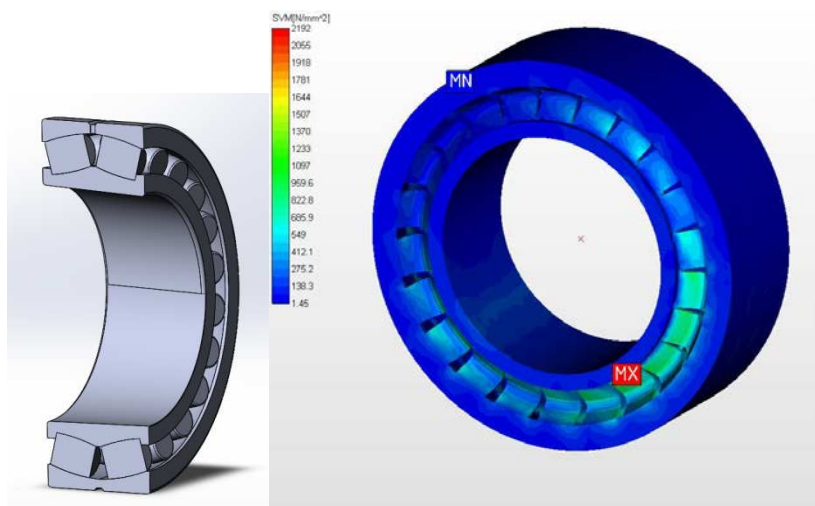


Рисунок 2 – Карта расчета подшипника 23196 САКW33.

Этот и предыдущий вычислительный эксперимент необходимы, чтобы в дальнейшем, разобраться в нагрузочных процессах щековых дробилок со сложным качанием щеки. Использую разработанные модели подшипников, для упрощения вычисления [1].

Для определения действующих сил на механизм щековой дробилки необходимо провести силовой анализ механизма дробления.

Силовой расчет механизма основан на составлении уравнений равновесия активных сил, реакций связей и сил инерции, приложенных к каждому звену механизма. На рисунке 3 показаны расчетная схема и план сил, действующих на подвижную щеку.

На подвижную щеку действуют следующие нагрузки – движущая сила  $F_{дв}$ , сила сопротивления дробления  $F_{др}$ , реакция  $R_{рп}$ , действующая в распорной плите, и реакция  $R_A$ , действующая в шарнире  $A$ . Сила тяжести щеки не учитывается в расчетах ввиду ее относительно малого значения [2].

Реакция  $R_{рп}$  определяется из условия равновесия щеки

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow F_{др} l_1 - R_{рп} l_2 = 0,$$

где  $l_1$  – плечо действия силы дробления;  $l_2$  – плечо действия реакции в распорной плите.

Ввиду наличия нескольких зон дробления по высоте камеры дробления плечо  $l_1$  имеет переменное значение.

Отсюда

$$R_{рп} = F_{др} l_1 / l_2 = k F_{др},$$

где  $l_2 = -AB \cos(\alpha + \delta - \gamma)$ .

Реакция  $R_A$  в соответствии с теоремой косинусов составит

$$\begin{aligned} R_A &= \sqrt{F_{др}^2 + R_{рп}^2 - 2F_{др} R_{рп} \cos(\alpha + \delta - 180^\circ)} = \\ &= F_{др} \sqrt{1 + k^2 + 2k \cos(\alpha + \delta)} = t F_{др}. \end{aligned}$$

Реакция  $R_A$  уравнивается движущей силой, создаваемой вращающим моментом на эксцентриковом валу.

Максимальная величина момента на эксцентриковом валу, создаваемого двигателем равна:

$$M_{эв.ст} = \frac{P_{дв} \eta}{\omega_1},$$

где  $P_{дв}$  – мощность двигателя;  $\eta$  – КПД механизма.

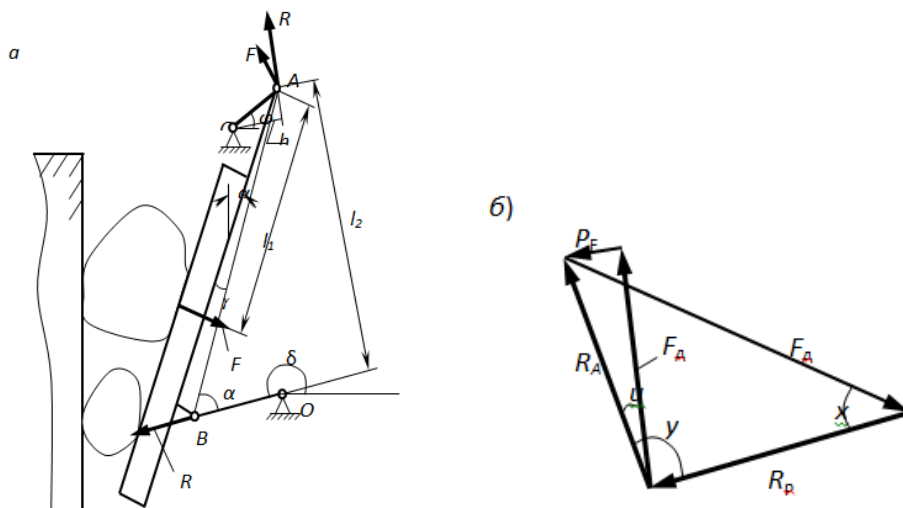


Рисунок 3 - Схема и план сил силового расчета

Момент, создаваемый реакцией в шарнире  $A$ , составит:

$$M = R_A h = -R_A O_1 A \sin(y + \delta - \varphi),$$

$$\text{где } y = \arcsin\left(\frac{-\sin(\alpha + \delta)}{t}\right).$$

Приравнявая моменты, создаваемые двигателем и реакцией  $R_A$ , после преобразований получим

$$F_{др. max} = \frac{-M_{эв.ст}}{O_1 A t \sin(\delta + \gamma - \varphi)}$$

Зная усилия, при помощи расчетного модуля программы АРМ Winmachine [3-4], прикладываем силы к валу дробилки ЩДС 12х15, с надетыми на вал конусными втулками и альтернативными моделями подшипников.

Результаты вычислительного эксперимента видно на рисунке 4. Представлено 2 сечения на разной глубине, вдоль продольной оси вала дробилки. Сечение «а» – по центральной, продольной оси вала, сечение «б» – на глубине 2/3 диаметра вала. Выделена максимальная точка в зоне действия нагрузки (знак МАХ). Подшипник щеки при этом, в обоих случаях, представлен справа, а подшипник корпуса на конусной втулке – слева.

Видно, что большую часть действующих сил и возникающих моментов принимают на себя подшипники, но, несмотря на это, значительная часть усилия действует так же и на вал. Наибольшая концентрация напряжений возникает в местах перехода диаметра вала, а так же месте сопряжения конусной втулки с валом и подшипником. Именно эти напряжения, зачастую становятся фатальными для конусной втулки, см. рисунок 5. В данном случае показан эксперимент с нормальной рабочей нагрузкой, многократное увеличение которой, например, при попадании в камеру дробления недробимого тела, служит причиной поломки, выводя оборудование из строя.

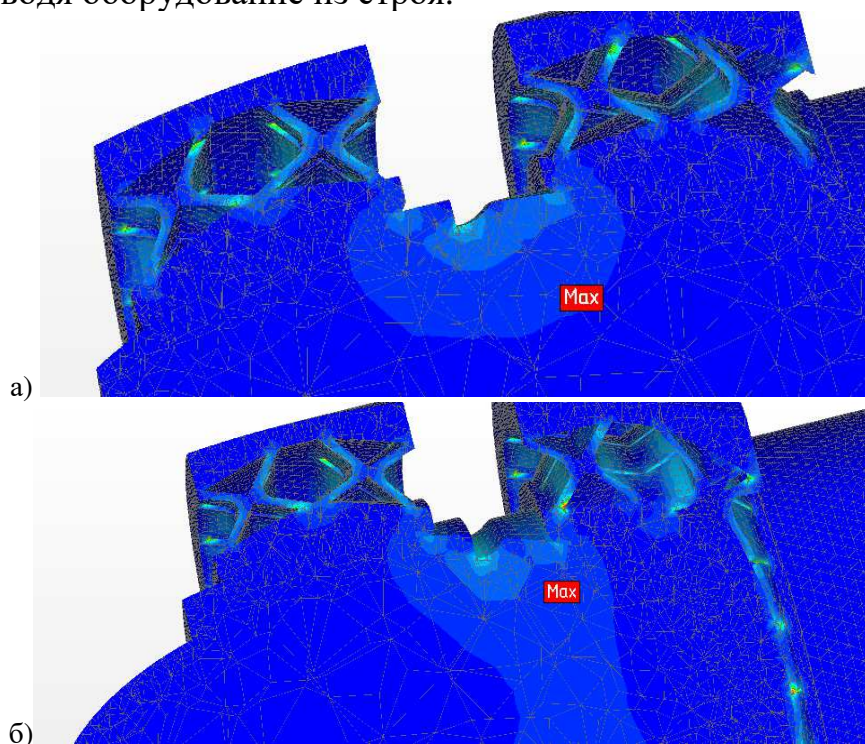


Рисунок 4 – Результаты опыта действия сил на вал и подшипники, дробилки ЩДС 12х15.



Рисунок 5 – Разбитая конусная втулка щековой дробилки.

**Выводы:**

Метод вычисления с использованием упрощенных моделей можно считать достоверным, так как его результаты подтверждают практическую действительность.

Необходима параметризация модели подшипника, для ее гибкости применения в разных областях проектирования.

Благодаря карте действующих сил, видно, что есть предпосылки к модернизации подшипникового узла щековой дробилки.

**Список литературы**

1. Лагунова Ю.А., Майоров С.А. Анализ напряженно-деформированного состояния подшипника. Известия вузов. Горный журнал, 2020. № 3, С. 70-81.
2. Комиссаров А. П., Лагунова Ю. А., Шестаков В. С., Орочко А. В. Особенности рабочего процесса щековых дробилок с простым и сложным качанием подвижной щеки. Горное оборудование и электромеханика, 2015. № 5, С. 31-34.
3. Замрий А. А. Проектирование и расчет методом конечных элементов трехмерных конструкций в среде АПМ Strusture 3D. М.: Изд. АПМ. 2004. 208 с.
4. Шелофаст А.В., Чугунова Т.Б. Основы проектирования машин. Примеры решения задач М. 2004; Изд-во АПМ. – 240 с.

УДК 622.73

**ОБОРУДОВАНИЕ «ВИБРОТЕХНИК» ДЛЯ ПРОБОПОДГОТОВКИ И ОПЫТ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ В УЧЕБНОЙ ЛАБОРАТОРИИ УРАЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА**

<sup>1</sup>Семчак А.И., нач. отдела маркетинга, <sup>2</sup>Бочков В.С., доцент, канд. техн. наук,

<sup>1</sup>ООО «ВИБРОТЕХНИК», г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

*Рассмотрен опыт эксплуатации оборудования «ВИБРОТЕХНИК» для дробления, измельчения и отсева горных пород в учебной лаборатории Уральского государственного горного университета.*

*Ключевые слова:* пробоподготовка, дробление, измельчение, отсев материалов.

**«VIBROTECHNIK» EQUIPMENT FOR SAMPLE PREPARATION AND EXPERIENCE OF ITS OPERATION IN AN EDUCATIONAL LABORATORY AT THE URAL STATE MINING UNIVERSITY**

**Semchak A.I., Bochkov V.S.**

*The experience of operating «VIBROTECHNIK» equipment for crushing, grinding and sieving rock samples in the educational laboratory of the Ural State Mining University is considered.*

*Keywords:* sample preparation, crushing, grinding, sieving of materials.

ООО «ВИБРОТЕХНИК» - ведущий российский разработчик и производитель лабораторного оборудования для измельчения и отсева материалов. В ассортимент выпускаемой продукции входят щековые, конусные, молотковые и валковая дробилки; дисковые и вибрационные истиратели; истиратель почвы; ножевые мельницы; анализаторы, грохоты и лабораторные сита; делители и сократители; специальное и вспомогательное лабораторное оборудование, а также комплексы технологического оборудования.

В апреле 2019 года в Уральском государственном горном университете на кафедре горных машин и комплексов (ГМК) в сотрудничестве с ООО «ВИБРОТЕХНИК» была открыта учебная лаборатория. Лаборатория оснащена комплектом оборудования «ВИБРОТЕХНИК» для пробоподготовки в горнодобывающей отрасли:

№	Процесс	Оборудование	Назначение
1	Основное оборудование		
1.1	Предварительное дробление	ЩД 10М	Дробление с 70 до 2.5 мм
1.2	Додрабливание	ДВГ 200x125	Дробление с 12 до 0,25 мм
1.3	Сокращение	СА	Сокращение пробы до 1/2- 1/80 пробы
		ДП 10	Деление пробы на две равные части
1.4	Измельчение	ИД 250	Измельчение в непрерывном режиме до 71 мкм
		ИВ 1	Измельчение в периодическом режиме 50 мкм
2	Вспомогательное оборудование		

2.1	Подача материала	ПГ 1	Равномерная подача материала
2.2	Пылеудаление	БПУ	Снижение уровня пыления
2.3	Анализ крупности	А 20	Рассев на 13 классов крупности от 0.02 до 4 мм

На протяжении года студенты, магистранты и аспиранты кафедры ГМК проводили лабораторные работы и научные исследования в лаборатории. Было произведено более 30 исследований, таких как:

- влияние режима дробления материала (одно- или многостадийное) на производительность и крупность продукта дробления на щековой дробилке ЩД 10М и валковой дробилке ДВГ 200х125;

- определение эффективности дробления различных материалов на ЩД 10М (галька; гранит; мрамор; сланец; золотосодержащая порода).

Результаты работ несут не только образовательно-научный, но и прикладной характер – полученные в ходе испытаний данные включаются в базу данных компании «ВИБРОТЕХНИК», что позволяет более точно подбирать оборудование для решения задач заказчиков. Комплект оборудования, представленный в лаборатории, позволяет проводить не только точечные эксперименты по отдельным видам оборудования, но и комплексные исследования по сложным технологическим задачам.

Наиболее перспективными представляются следующие исследования:

- анализ эффективности измельчения на истирателе вибрационном ИВ-1 в зависимости от изменения времени измельчения, объема пробы, способа размещения мелющих органов чаши, крупности питания;

- повышение эффективности ситового анализатора А-20 с учетом применения активаторов отсева (различных масс, количества, материалов), влияния объема рассеиваемой пробы, влияние амплитуды колебаний;

- проведение комплексных испытаний ЩД 10М, ДВГ 200х125 и ИД 250 с целью ознакомления с процессом пробоподготовки и оптимизации технологических настроек оборудования (зазоры между рабочими органами, режимы загрузки питания, изменение степени сокращения материала).

Помимо учебных занятий, в лаборатории проводятся научно-исследовательские работы студентов и магистров УГГУ, что способствует развитию студенческой науки в ВУЗе. Готовятся к публикации статьи, подготовленные сотрудниками кафедры горных машин и комплексов с участием студентов УГГУ. Регулярно проводятся познавательные экскурсии для студентов и школьников.

Также лаборатория предоставляет возможность выполнения технологических испытаний для профильных предприятий и производств. Лабораторию уже посетили делегации ОАО «Ураласбест»; ООО «Березовский рудник»; ООО «Асбестовский ремонтно-машиностроительный завод»; ОАО «Уральская геолого-съёмочная экспедиция» и других компаний.

## **ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОЕ И НЕФТЕГАЗОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**

***Чтобы нефть и газ бессменно  
Горный комплекс добывал,  
И в других месторожденьях  
Недостаток не настал,  
Чтоб районы шахт и скважин  
Нам дарили, что хотим –  
Сей раздел не только важен,  
А совсем незаменим!***

Доц. П.А. Жиганов

УДК 622.276.652

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ МЕТОДОВ УВЕЛИЧЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ

Бочкова К. В., магистр, Лагунова Ю.А., проф.

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

*Рассмотрены основные виды тепловых методов воздействия на нефтяной пласт. Проанализированы их возможная эффективность в условиях Баженовской свиты. Сделано предположение, что наиболее эффективным методом добычи тяжелой нефти в условиях Баженовской свиты будет применение пиролиза в присутствии воды, что, в свою очередь, способствует увеличению выхода жидких продуктов.*

**Ключевые слова:** нефтеотдача, теплоноситель, тяжелая нефть, пиролиз, прогрев пласта, Баженовская свита.

## ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF APPLYING THERMAL METHODS TO INCREASE OIL TRANSFER

Bochkova K. V., Lagunova Yu.A.

*The main types of thermal methods for influencing the oil reservoir are considered. Their possible effectiveness in the Bazhenov formation is analyzed. It has been suggested that the most effective method for producing heavy oil in the Bazhenov formation will be the use of pyrolysis in the presence of water, which will increase the yield of liquid products.*

**Keywords:** oil recovery, coolant, heavy oil, pyrolysis, formation heating, Bazhenov formation.

Одной из наиболее важных тенденций, наблюдаемых в настоящее время в нефтедобывающей отрасли, является усовершенствование существующих методов увеличения нефтеотдачи. Это связано с сокращением запасов традиционной нефти и увеличением доли трудноизвлекаемых запасов. Особый интерес наряду с тяжелой нефтью и природными битумами вызывают горючие сланцы и твердые органические вещества низких стадий преобразования, называемые керогеном.

Для добычи высоковязких нефтей используются различные виды тепловых методов увеличения нефтеотдачи. По виду нагнетаемого агента и механизму воздействия на пласт тепловые методы можно разделить на три группы:

- нагнетание в пласт теплоносителей (пара, горячей воды и др.);
- нагнетание в пласт окислителей (воздуха, кислорода);
- закачка в пласт двух и более агентов (термополимерный, парогазовый и др.).

Наибольшее распространение в мировой практике получили технологии, основанные на закачке в пласт пара: пароциклические обработки скважин и площадная закачка пара. Данные технологии предполагают относительно невысокие температуры воздействия – до 250 °С. Для добычи высоковязких нефтей такой температуры для увеличения добычи оказывается достаточно, но для добычи нефти из низкопроницаемых коллекторов и керогена, а также для добычи нетрадиционной (сланцевой) нефти температура должна быть значительно выше [1].



Главным примером низкопроницаемых залежей в России является Баженовская свита, характеризующаяся высокой нефтенасыщенностью. При этом нефть представлена двумя основными фазами – керогеном и жидкой фазой, соотношение между которыми может существенно меняться в пределах свиты. Жидкая фаза отличается легкостью, малым содержанием серы, а также отсутствием других нежелательных примесей. Условия залегания отложений Баженовской свиты характеризуются повышенной температурой и давлением в отличие от выше- и нижележащих пород. Эти факторы оказывают серьезное влияние на выбор технологии разработки [2].

Таким образом, учитывая особенности залегания углеводородов в Баженовской свите и недостатки так называемых традиционных тепловых методов увеличения нефтеотдачи, литературный обзор был проведен по источникам, в том числе зарубежным, содержащим результаты новейших лабораторных исследований и примеры их применения на месторождениях сланцевой нефти всего мира.

Богатейшие в мире запасы сланцевой нефти находятся в России (Баженовская и Ачимовская свиты), в США и Китае.

В Соединенных Штатах для увеличения добычи нефти низкопроницаемых пород рассматривается возможность закачивать в нефтекерогеносодержащие пласты формации Баккен углекислый газ. Участники проекта изучали поведение  $\text{CO}_2$  в пласте, его взаимодействие с углеводородами при различных давлениях и температурах. На основании лабораторных исследований и математического моделирования процессов было установлено, что закачка  $\text{CO}_2$  в продуктивные пласты Баккен позволит увеличить коэффициент извлечения нефти (КИН) примерно на 4 %. Кроме того, благодаря использованию данного метода увеличения нефтеотдачи, в США на государственном уровне решается проблема утилизации углекислого газа, выделяющегося в процессе переработки горючих сланцев и извлечения из них сланцевой смолы.

Учитывая особенности залегания продуктивных пластов на месторождениях Баженовской свиты, можно предположить, что данная технология будет модифицирована в термогазовую, так как углекислый газ переходит в сверхкритическое состояние. Основными факторами, указывающими на нецелесообразность применения данной технологии, является отсутствие достаточных энергогенерирующих мощностей и достаточного количества  $\text{CO}_2$  в Западной Сибири.

Наиболее емкими являются результаты, полученные китайскими исследователями из технологического университета Тайюани. В течение нескольких лет инициативной группой изучался процесс сухого пиролиза органического вещества сланца Фушунь с образованием сланцевой нефти и углеводородного газа при температуре от 20 °С до 600 °С.

В ходе эксперимента исследователями была установлена критическая температура, соответствующая скачкообразному изменению проницаемо-

сти и наиболее интенсивному растрескиванию образца. Так, с увеличением температуры до 350 °С коэффициент проницаемости увеличивается очень медленно, в то время как после достижения 350 °С коэффициент проницаемости резко возрастает (рис. 1). Количество и размеры трещин резко увеличиваются в интервале температур от 300 °С до 400 °С (рис. 2).

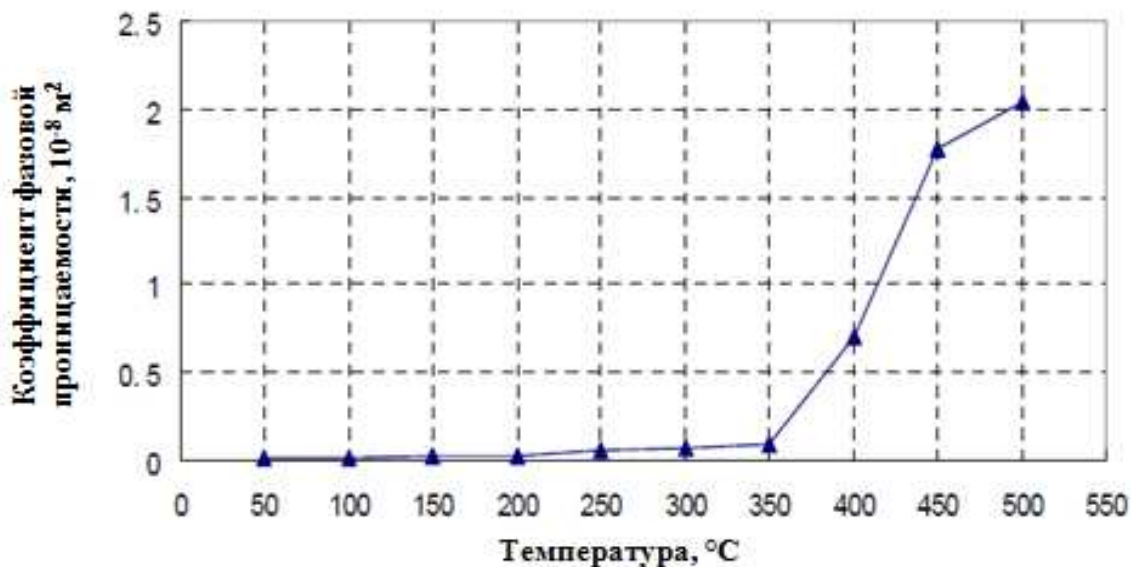


Рис. 1. Связь между температурой и коэффициентом проницаемости

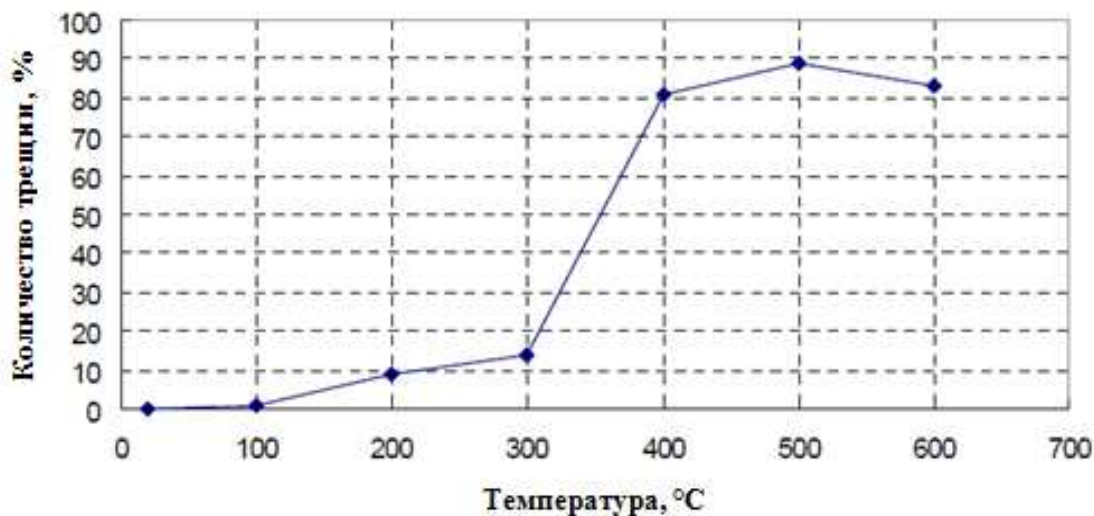


Рис. 2. Связь между температурой и количеством трещин

Из сказанного выше видно, что процесс термического крекинга можно разделить на два этапа в зависимости от температуры: от 20 °С до 300 °С и от 300 °С до 600 °С. Первый температурный интервал характеризуется образованием большой трещины по направлению напластования при температуре 100 °С. При повышении температуры от 200 °С до 300 °С инициируется образование нескольких микротрещин, параллельных плоскостям напластования. Второй температурный интервал характеризуется

скачкообразным ростом образования новых трещин и увеличением размеров уже образовавшихся трещин в предыдущем температурном диапазоне.

Из этого следует, что термический крекинг может значительно повысить проницаемость продуктивных пластов [3].

Горючие сланцы распространены по всему миру, и основным методом их превращения в жидкое топливо является пиролиз. Так как органическое вещество горючих сланцев характеризуется высоким содержанием водорода (7-12 %), его большая часть (75-85 %) преобразуется в газообразные продукты при низкотемпературном пиролизе.

В процессе нагрева твердого топлива до температуры его термического разрушения, органическое вещество подвергается разложению, обусловленному разрывом химических связей и образованием свободных радикалов. По результатам экспериментов на образцах болгарских нефтеносных сланцев было доказано, что в отсутствие водорода процесс смещается в сторону образования продуктов конденсации, т.е. полукокса и кокса. При наличии дополнительного водорода, а также свободных связей, образованных после разрушения молекул, осуществляется процесс внутримолекулярного перераспределения водорода, в результате чего растет выход жидкости в качестве конечных продуктов.

Таким образом, пиролиз в присутствии воды способствует увеличению выхода жидких продуктов, а образующиеся газообразные продукты могут выступать в качестве углеводородных растворителей, при этом проблемы несовместимости углеводородов по составу не возникает.

### Список литературы

1. Методы повышения нефтеотдачи пластов (теория и практика) : учебное пособие / Л. М. Рузин, О. А. Морозюк. – Ухта : УГТУ, 2014. – 127 с.
2. Стрижнев К. В. Повышение эффективности технологии интенсификации добычи нефти для коллекторов баженовской свиты / К. В. Стрижнев, В. Т. Литвин // НефтьГаз-Промышленность. – 2013. – № 50. – С. 26-31.
3. Zhiqin Kang, Dong Yang, Yangsheng Zhao ,Yaoqing Hu. Thermal Cracking and Corresponding Permeability Fushun Oil Shale // Oil Shale. No. 2. – 2011, pp. 273–283.

УДК 62-791.2

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УЗЛА ИЗМЕРЕНИЯ ОБВОДНЁННОСТИ

**Игнатъев С.А.**, магистрант, **Лагунова Ю.А.**, проф.

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

*Проанализированы проблемы и выявлен ряд недостатков при эксплуатации замерных установок. Выявлена необходимость достоверной информации при оценке эффективности геолого-технического мероприятия. Установлена главная причина возникновения погрешности при замерах. Предложена установка порционного дозирующего устройства, а также необходимость применения более современного метода замера плотности пластовой воды.*

**Ключевые слова:** измерение обводнённости, усовершенствование узла замера, погрешность измерения, порционное дозирующее устройство, плотность пластовой воды, замерные установки.

## IMPROVEMENT OF THE WATER MEASUREMENT NODE

**Ignatyev S.A., Lagunova Yu.A.**

*The problems are analyzed and a number of shortcomings in the operation of measuring units are identified. The need for reliable information when evaluating the effectiveness of a geological and technical event has been identified. The main reason for the error in measurements was established. The installation of a batch metering device is proposed, as well as the need to use a more modern method for measuring the density of reservoir water.*

**Keywords:** measurement of water content, improvement of the metering unit, measurement error, batch metering device, reservoir water density, metering units.

В настоящее время перед многими нефтяными компаниями в нашей стране стоит проблема точного замера всех трех фаз (нефть, газ, вода) продукции скважин. Поэтому многие российские и зарубежные предприятия, специализирующиеся на выпуске нефтепромыслового оборудования, работают в этой области.

Задача усложняется возникновением особых условий работы замерных установок, одним из которых является рост количества высокообводнённых скважин.

Учет подготовленных к потреблению и переработке нефти и газа отлажен неплохо, так как сравнительно прост и давно находится в сфере интересов добывающих, транспортирующих и перерабатывающих предприятий [1].

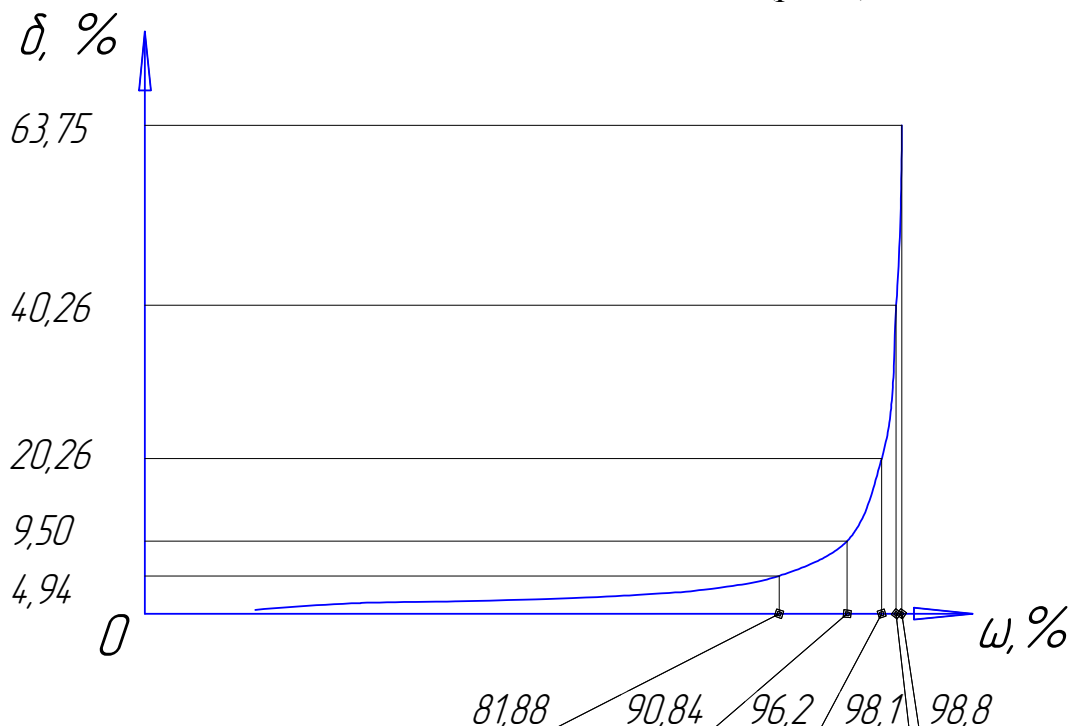
Что касается учета сырой продукции, который осуществляется по скважинам и отдельным блокам сбора нефти, то его состояние давно не отвечает современным требованиям.

Высокая достоверность определения дебита скважин по нефти и газу необходима на стадии пробной эксплуатации для правильной оценки запасов углеводородов, данные о которых являются основой для принятия решения об инвестициях.

В процессе разработки месторождения информация о дебитах необходима для правильного ведения этого процесса, а также оценки эффективности того или иного геолого-технического мероприятия [2].

В качестве объекта исследования являются автоматизированные замерные установки «ОЗНА-Импульс». В ходе исследований замерных установок был выявлен ряд недостатков, связанных с большой погрешностью замера продукции скважины при высокой обводнённости [3].

В ходе анализа работы установки была выявлена главная причина возникновения погрешности замера продукции скважин при высокой обводнённости - неточность плотности пластовой воды (рис.1).



**Рисунок 1 – График зависимости относительной погрешности массового расхода нефти от обводнённости нефти:**  
 где  $\delta$  - относительная погрешность массового расхода нефти,  
 $\omega$  - значение обводнённости.

Представленный график объясняет причину того, что в технической характеристике установки «ОЗНА-Импульс» указана предельная обводнённость нефти, равная 95 %.

Для устранения этого недостатка и для возможности применения установки на сильно обводнённых скважинах с обводнённостью более 95 % предлагаем:

- установить на отстойнике порционное дозирующее устройство с целью ускорения процесса отделения нефти от воды и гарантирования образования столба жидкости из пластовой воды без содержания нефти;
- внедрить гидростатический способ замера плотности пластовой воды.

**Выводы:**

Предлагаемое усовершенствование расширяет функциональные возможности замерной установки, делая возможным её применение на сильнообводнённых скважинах. Внедрение гидростатического способа измере-

ния плотности пластовой воды делает установку более экономически-выгодной и, одновременно, обеспечивающей более высокую точность измерений при данных условиях работы.

### **Список литературы**

1. Байков Н.М., Г.Н. Позднышев Сбор и промысловая подготовка нефти, газа и воды. М.: Недра, 1981. – 261 с.
2. В.А. Мелецкий. Блочное автоматизированное оборудование для добычи, сбора и подготовки нефти, газа и воды: Тематический научно-технический обзор. Серия «Автоматизация и телемеханизация нефтегазовой промышленности». М.: ВНИИОЭНГ, 1974. – 198 с.
3. Исакович Р.Я., В.Е. Попадько. Контроль и автоматизация добычи нефти и газа. М.: Недра, 1985 – 351 с.

УДК 622.276.53.054.2

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МОНТАЖА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ ШТАНГОВЫХ СКВАЖИННЫХ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

к.т.н., доц., **Шишляников Д.И.**<sup>1</sup>, аспирант, **Фролов С.А.**<sup>1</sup>,  
помощник ГИП, **Тяктев М.М.**<sup>2</sup>, студент, **Кирилловых Д.С.**<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь,

<sup>2</sup> Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть», г. Пермь, Россия

*Рассмотрены особенности конструкций и способов монтажа гидравлических приводов установок штанговых скважинных насосов для добычи нефти. Указывается, что использование треногих шатровых опор гидравлических приводов, монтируемых на основании из двух железобетонных плит, обуславливает неравномерную деформацию грунта, что определяет необходимость выполнения работ по центровке. Выполнена оценка величины смещения треногой опоры гидропривода штанговой скважинной насосной установки относительно устья скважины и изменения распределения нагрузок на опорные плиты при деформации грунта. Предложены технические решения по совершенствованию технологии и способов монтажа гидравлических приводов штанговых скважинных насосных установок.*

**Ключевые слова:** гидравлический привод, штанговая скважинная насосная установка, монтаж, опора, основание.

## IMPROVEMENT OF MOUNTING TECHNIQUE OF HYDRAULIC DRIVES FOR SUCKER-ROD PUMPING UNITS

**Shishlyannikov D.I., Frolov S.A., Tyaktev M.M., Kirillovykh D.S.**

*In this paper, the features of constructions and mounting reviewed of hydraulic drives of the sucker-rod pump for oil extraction. It is noted that using the tripod support of the tent poles of hydraulic actuators mounted based on the two concrete slabs, causes nonuniform deformation of the soil that determines the necessity of execution of works on the alignment. Completed assessment the values of displacement of the tripod support of the hydraulic drive for the sucker-rod pumping unit relative to the wellhead, and changes in the distribution of loads on the support plates during deformation of the soil. Technical solutions to improve the technology and methods of mounting of hydraulic drives was offered for sucker-rod pumping units.*

**Keywords:** hydraulic drive, sucker-rod pumping units, mounting, support, basis.

В настоящее время на территории России и стран СНГ свыше 70 % скважин эксплуатируются с использованием штанговых скважинных насосных установок (ШСНУ) оснащенных преимущественно механическим приводом – балансирными станками-качалками. К основным достоинствам балансирных СК следует отнести простоту устройства и обслуживания, длительные периоды эксплуатации, невысокую стоимость целом [1, 2]. Однако существенная металлоёмкость СК, наличие подвижных узлов со значительными моментами инерции, использование в конструкции клиноремённых передач и асинхронного электропривода приводит к возникновению ряда недостатков отрицательно влияющих на эффективность эксплуатации ШСНУ [3].

Мобильность и меньшая металлоёмкость ГП ШСНУ, по сравнению с балансирными СК, обуславливают снижение временных и материальных затрат на монтаж гидропривода ШСНУ.

В настоящее время широкое внедрение гидроприводов ШСНУ сдерживается меньшей надежностью, по сравнению с механическими СК, и необходимостью проведения регулярных работ по техническому обслуживанию и ремонту, требующих высокой квалификации персонала сервисных служб [4].

Повышение надежности гидравлических приводов ШСНУ возможно посредством совершенствования технологии их монтажа.

#### **Анализ способов монтажа гидравлических приводов ШСНУ**

Отечественными производителями выпускаются гидравлические приводы с двумя способами монтажа: непосредственно на колонном фланце устьевой арматуры и на опоре шатрового типа.

Монтаж силового гидроцилиндра непосредственно на фланце устьевой арматуры исключает необходимость его центрирования и предотвращает утечки рабочей жидкости по штоку гидроцилиндра [5].

Наиболее распространенным способом монтажа является установка силового гидроцилиндра привода над устьем скважины с использованием шатровой опоры и фундаментных плит, при этом жесткая связь силового гидроцилиндра с устьевой арматурой отсутствует.

Монтаж треногой опоры гидропривода на двух приустьевых плитах обуславливает неравномерное распределение нагрузки, что определяет деформацию грунта и возникновение перекосов опоры [6].

Смещение силового гидроцилиндра относительно устья скважины обуславливает износ уплотнений силового гидроцилиндра и сальников устьевой арматуры, деформацию штока гидроцилиндра, выход из строя датчиков положения штоков [7, 8].

#### **Оценка нагрузок на опорные плиты гидроприводов ШСНУ**

При использовании треногой опоры шатрового типа, третья часть полезной нагрузки и веса гидропривода приходится на плиту 1, и две трети – на плиту 2 (рис. 1). Указанное создает условия для проседания опорной плиты 2 относительно плиты 1. (см. рис. 1, в). Кроме того, при проседании плиты 2 разность нагрузок на опорные плиты будет увеличиваться, что приведёт к дальнейшей расцентровке опоры. На рис. 2 представлены графики, отражающие зависимости изменения смещения вершины шатровой опоры  $\Delta X(h)$  и разности нагрузок на опорные плиты  $\Delta G(h)$  от величины проседания плит относительно друг друга  $h$ .

Стоит также отметить, что установку башмаков шатровых опор зачастую осуществляют со смещением относительно продольных осей опорных плит, что также обуславливает неравномерность нагружения плит и, как следствие, их поворот относительно продольных осей (см. рис. 1, д).

Анализ полученных результатов показывает необходимость разработки технических решений по совершенствованию технологии и способов монтажа гидравлических приводов ШСНУ.



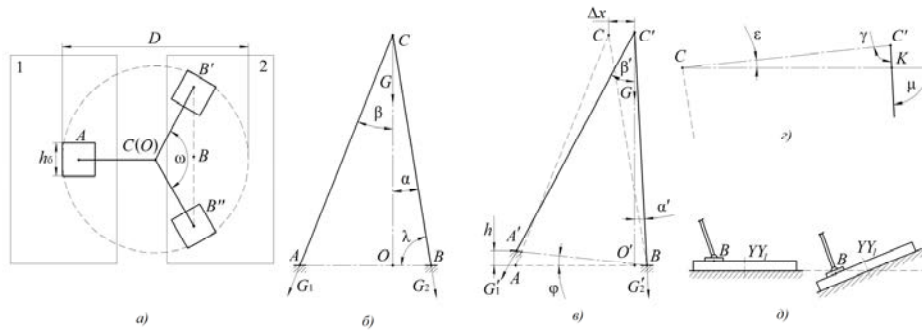


Рис. 1. Схема шатровой треногой опоры:

а) вид сверху; б) вид сбоку; в) изменение положения треногой опоры при проседании грунта; г) смещение вершины опоры при проседании грунта (увеличено); д) изменение положения опорной плиты при деформации грунта

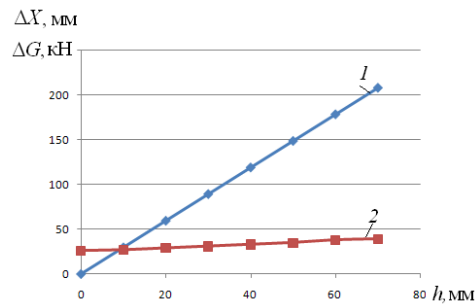


Рис. 2. Изменения величины смещения вершины шатровой опоры (1) и разности нагрузок на опорные плиты (2) в зависимости от величины проседания плит относительно друг друга  $h$

### Предлагаемые технические решения

Равномерное распределение нагрузок при монтаже гидроприводов ШСНУ на две опорные плиты возможно посредством использования четырехной опоры шатрового типа. При этом опорные башмаки необходимо располагать на продольной оси плиты, на одинаковом расстоянии по обе стороны от её поперечной оси.

Повышение устойчивости грунта под опорными плитами и на всей приустьевой площадке достигается при армировании грунта объемной полимерной георешёткой (рис. 3) [9].

Георешётка получена путем продольного и последующего поперечного вытягивания перфорированного листа полимерного материала [10]. Высокая собственная жёсткость георешётки обеспечивает минимальную деформацию заполнителя под нагрузкой, повышает допустимую нагрузку на слабое основание, снижает неравномерность осадки грунта, вызываемой постоянной или переменной нагрузкой.

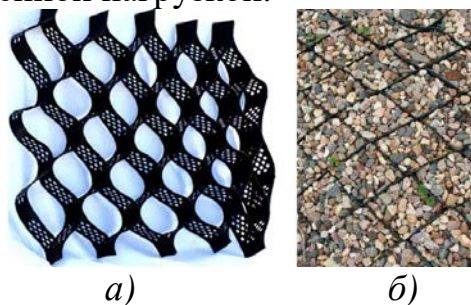


Рис. 3. Объемная полимерная георешётка:

*а – общий вид; б – георешётка с заполнителем*

Описанная технология устройства основания под опоры гидроприводов ШСНУ позволяет снизить количество работ, связанных с центральной опоры, и повысить надёжность гидроприводов в целом.

### Список литературы

1. Мазеин И.И., Устинов А.Н., Тяктев М.В., Рыбин А.А., Шишлянников Д.И., Тяктев М.М. Результаты опытно-промышленных испытаний перспективных приводов штанговых скважинных насосных установок // Горное оборудование и электромеханика. – 2016. – № 9. – С. 8–13.
2. Шишлянников Д.И., Рыбин А.А. Оценка нагруженности балансирных станков-качалок по параметрам питания электропривода // Записки Горного института. – 2017. – Т. 227. – С. 582–588.
3. Шишлянников Д.И. Исследование силовых и энергетических параметров работы перспективных вентильных двигателей балансирных станков-качалок // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2017. – № 5. – С. 25–30.
4. Устинов А.Н., Тяктев М.В., Шишлянников Д.И., Трифанов М.Г., Тяктев М.М., Фролов С.А. Повышение эффективности гидравлических приводов штанговых скважинных насосных установок для добычи нефти // Горное оборудование и электромеханика. – 2017. – № 7. – С. 26–32.
5. Привод штангового скважинного насоса гидравлический ПШСНГ-80-6 (НПК10-8-6). Руководство по эксплуатации. – Пермь: ООО "НПК", 2010. – 15 с.
6. ЭСУ и электрооборудование ГПШСН Гейзер, модификация с электродинамическим уравниванием. Руководство по эксплуатации ГПШСН 80-3,5 ЭСУ РЭ. – Екатеринбург: ООО "НПП "ПСМ-Импэкс", 2013. – 57 с.
7. 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.
8. Шишлянников Д.И., Софьина Н.Н. Обоснование рационального способа контроля параметров работы и технического состояния штанговых скважинных насосных установок // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2016. – № 4. – С. 82–88.
9. Шафиков Ф.Ф. Геосетки и георешётки, как инновационные материалы в дорожном строительстве // Вестник современных исследований. – 2018. – № 8 (23). – С. 336–338.
10. Пат. RU 164791 U1 Георешётка // Литвинцев А.В. – 2016. – № 2016116540/03; заявл. 27.04.2016; опубл. 20.09.2016.

УДК 622.06

## НОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Костиловский В.А.<sup>1</sup>, Шайдаков В.В.<sup>2</sup>, Аюпова А.Р.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ПАО "Нефтяная компания Лукойл", <sup>2</sup> УГНТУ, <sup>3</sup> ООО НПП «АММА»

*В статье проведен анализ методов очистки промышленных вод. Описаны механизмы очистки воды. Рассмотрены достоинства и недостатки различных методов. Представлено усовершенствованное устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод. Описана его конструкция и метод работы. Так же предложено устройство устанавливаемое в отстойник воды и позволяющее увеличить ресурс коалесцирующего фильтра, производительность и эффективность отстойника.*

**Ключевые слова:** очистка сточных вод, методы, аппараты, технология, отстойник, водонефтяная смесь

## NEW EQUIPMENT FOR INTENSIFICATION WASTE WATER TREATMENT PROCESSES

Kostolevsky V. A.<sup>1</sup>, Shaidakov V. V.<sup>2</sup>, Ayupova A. R.<sup>3</sup>

*The article analyzes the methods of treatment of commercial waters. Water purification mechanisms are described. The advantages and disadvantages of various methods are considered. An improved device for cleaning oil-containing wastewater is presented. Its design and method of operation are described. It is also proposed to install a device in a water sump that allows increasing the resource of the coalescing filter, the productivity and efficiency of the sump.*

**Keywords:** wastewater treatment, methods, apparatuses, technology, septic tank, oil-water mixture

Как показывает выполненный анализ в нефтепромышленной практике должной степени очистки сточных вод в пределах финансовых затрат, ограниченных большими объемами работ, в соответствии с современными научными представлениями о механизмах разделения сложных систем наиболее реальными являются способы, связанные с действием естественных природных сил.

В используемых в настоящее время аппаратах и устройствах очистки сточных вод на промыслах отдельно или в комбинации реализуются два основных механизма - разделение в естественном поле силы тяжести или в поле центробежных сил и флотационный эффект.

Оба механизма сравнительно малозатратны, т.к. используют природную энергию (потока или взаимодействия фаз), что особенно важно в условиях большого объема обрабатываемой среды. Эти аппараты, как и использующиеся гидроциклоны, позволяют достичь степени очистки сточных вод, достаточной для использования в системе ППД при хороших коллекторских свойствах пластов нефтеносных горизонтов.

Глубокая очистка воды может быть достигнута путем использования многоступенчатой технологии, включающей методы грубой и тонкой очистки, доочистки и обеззараживания. Технологическая схема подготовки нефтепромышленных вод для использования в системе ППД, основанная на последних достижениях в области водоочистки, включает следующие ос-

новые элементы: отстойник, коалесцирующе-гидрофобный фильтр, камеру дугового разряда, зернистый фильтр, электрохимический фильтр, УФ-излучатели, гидрофобный фильтр [1], что говорит о большом разнообразии технических средств и методов.

Совершенствование существующей традиционной отстойной аппаратуры, реализующей гравитационный механизм разделения в естественном поле силы тяжести, может осуществляться путем внесения дополнительных элементов, реализующих разделение в поле центробежных сил, флотационный эффект.

Нами предложено и запатентовано устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод [2], показанное на рисунке 1.

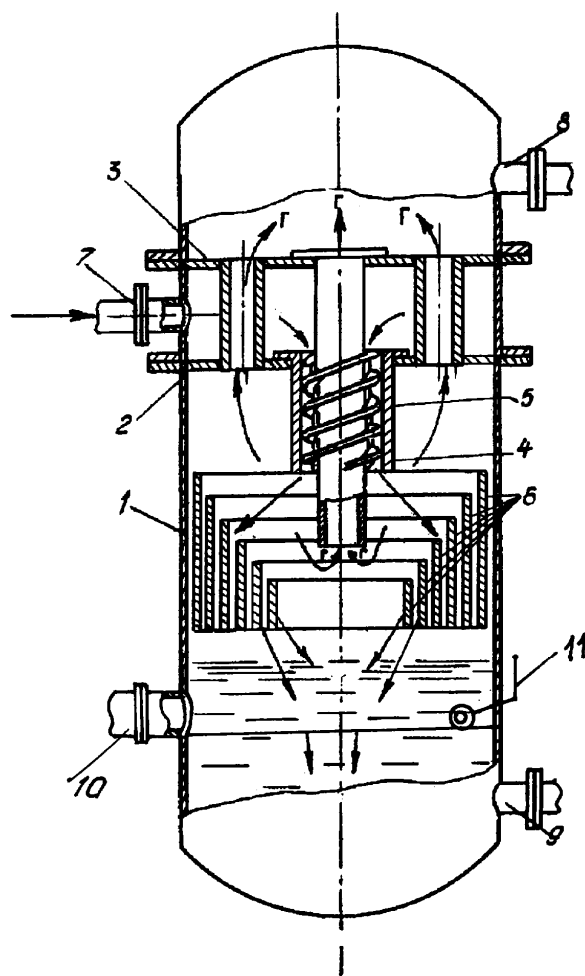


Рисунок 1 - Устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод

Устройство снабжено узлом разделения водонефтяной смеси, состоящим из внутреннего патрубка, на внешней поверхности которого выполняются спиральные винтовые каналы, а в средней части корпуса устройства устанавливаются цилиндрические отражательные экраны, причем на границе раздела фаз установлен регулятор уровня «нефть-вода».

Устройство содержит каплеобразователь 1, выполненный в виде вертикально расположенного цилиндрического сосуда, нижнюю крышку 2,

верхнюю крышку 3, патрубков 4 с винтовой нарезкой 5, отражающие цилиндрические экраны 6, патрубок ввода водонефтяной смеси 7, патрубок выхода газа 8, патрубок для вывода жидкости (очищаемой воды) 9, патрубок для вывода нефти 10 и регулятор раздела фаз «нефть-вода» 11.

Водонефтяная смесь поступает в каплеобразователь через входной патрубок, по касательной к боковой поверхности каплеобразователя на патрубок с винтовой нарезкой, где вследствие действия центробежной силы происходит отброс смеси на отражательные цилиндрические экраны в пленочном режиме. Граница раздела фаз между нефтью и водой регулируется регулятором «нефть-вода».

Существующие в настоящее время и применяемые в нефтяной промышленности отстойники имеют существенные недостатки. Особенно, следует отметить неэффективность отвода крупнодисперсной, пленочной и капельной нефти и механических примесей из очищаемой воды, поступающей на патронные коалесцирующие фильтры. При этом сокращается ресурс и надежность отстойников, снижается производительность из-за уменьшения фильтрующей способности элементов и эффективность очистки нефтесодержащих вод.

Предлагается повысить эффективность очистки, производительность отстойника и увеличить ресурс коалесцирующего фильтра путем выполнения продольной перегородки трапецеидальной формы в поперечном сечении, которая снабжена патрубком, расположенным под каждым патронным фильтром и перепускным устройством, соединяющим верхнюю часть камеры предварительного отстоя с верхней частью камеры окончательного отстаивания [3].

На рисунке 2 схематически показаны продольный и поперечный разрезы отстойника.

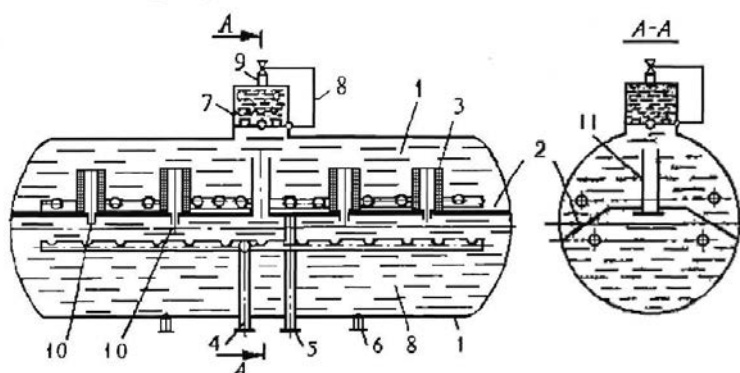


Рисунок 2 - Общий вид отстойника

Отстойник содержит емкость 1, которая горизонтальной трапецеидальной перегородкой 2 разделена на камеры предварительного и окончательного отстаивания; коалесцирующие патронные фильтры 3, установленные на перегородке 2, через которые сообщаются камеры, трубопровод 4 для подвода исходной воды; трубопровод 5 для отвода очищенной воды;

патрубки 6 для дренажа осаждающихся механических примесей нефтесборщик 7 с регулятором 8 межфазного уровня «нефть-вода» и патрубком 9 для отвода нефти.

Под каждым патронным фильтром к перегородке прикреплен патрубок, через который очищенная вода попадает в патронный фильтр для предотвращения попадания нефти. В центральной части емкости перегородка снабжена перепускным устройством, выполненным в виде трубы, которая служит для перепуска нефти, уловленной в камере предварительного отстаивания и скопившейся в ее верхней части, в верхнюю часть камеры окончательного отстаивания, минуя патронные фильтры.

Применение предложенной конструкции отстойника позволяет значительно повысить эффективность очистки воды, производительность отстойника и увеличивает ресурс коалесцирующих фильтров. Получение указанного эффекта обеспечивается тем, что крупнодисперсная нефть, уловленная в камере предварительного отстаивания за счет трапецеидального исполнения продольной перегородки, наличия патрубков под каждым патронным фильтром и перепускного устройства под трапецеидальной перегородкой, минуя патронные коалесцирующие фильтры, через перепускное устройство подается в верхнюю часть камеры для окончательного отстаивания. При этом коалесцирующие патронные фильтры разгружаются от пропуска крупнодисперсной и капельной нефти, уловленной в камере предварительного отстаивания, чем достигается увеличение производительности коалесцирующих фильтров и отстойника в целом.

### **Список литературы**

1. Назаров В.Д., Русакович А.А. Подготовка воды для заводнения нефтяных пластов.// Нефть и газ.- 2003 №5.
2. Патент на полезную модель № 67894, МПК В 04С 5/103. Устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод / А.Г. Гумеров, В.Г. Карамышев, В.А. Костолевский-2007120418; Заявлено 31.05.2007; Опубл. 10.11.2007; Бюл. 31- С.1.
3. Костилевский В.А., Карамышев В.Г., Караченцев В.Н. Отстойник для очистки нефтесодержащих сточных вод // Роль науки в развитии топливно- энергетического комплекса. Матер, научн - практ. конф. 24 октября 2007 г. в рамках VII Российского энергетического форума.- Уфа, 2007.- С. 239-241.

УДК:622.691.4.054

## РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ ГАЗИФИКАЦИИ РЕГИОНОВ РОССИИ ПУТЕМ СОЗДАНИЯ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

Шиян С.И., Терещенко И.А., Величко Е.И., Дунаев В.И.

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», г. Краснодар, Российская Федерация

*Статья посвящена перспективам газификации удаленных потребителей газа путем создания автономных систем газоснабжения, для скорейшей подачи газа потребителю, с последующим подключением данных систем к сетевому газоснабжению. Разработка автономных систем газоснабжения населенных пунктов с применением передвижных автогазозаправщиков по временной схеме до подключения к магистральной системе газоснабжения позволит значительно ускорить подачу газа потребителям и получить экономический эффект от внедрения данной технологии.*

**Ключевые слова:** газоснабжение, автономные системы, передвижные автогазозаправщики (ПАГЗ).

## SOLVING PROBLEMS OF GASIFICATION OF RUSSIAN REGIONS BY CREATING STAND ALONE GAS SUPPLY SYSTEMS

Shiyan S. I., Tereshchenko I. A., Dunaev V. I., Velichko E. I.

*The article is devoted to the prospects of gasification of remote gas consumers by creating Autonomous gas supply systems for the rapid supply of gas to the consumer, with the subsequent connection of these systems to the network gas supply. The development of Autonomous gas supply systems for settlements using mobile gas tankers on a temporary basis before connecting to the main gas supply system will significantly speed up the supply of gas to consumers and get an economic effect from the introduction of this technology.*

**Keywords:** GAS SUPPLY, STAND ALONE SYSTEMS, MOBILE GAS TANKERS (PAGZ).

Согласно Поручению Правительства РФ продолжается работа по реализации программ газификации субъектов РФ и обеспечению разработки программ развития газоснабжения и газификации регионов РФ на период 2021-2025 годов на основе подтвержденных администрациями регионов перспективных объемов газопотребления и планов по обеспечению подготовки потребителей к приему газа.

В результате работы уровень газификации России стабильно увеличивается и на 1 января 2020 года достиг 68,6% (рост на 15,3 п.п. по сравнению с 2005 годом).

Работу по газификации компания ПАО «Газпром» ведет в тесном взаимодействии с органами власти субъектов РФ по пятилетним программам развития газоснабжения и газификации для каждого субъекта РФ.

Однако, несмотря на все усилия, уровень газификации некоторых регионов достаточно низкий. Сложилась многолетняя практика первоочередной газификации населения пунктов, которые расположены в непосредственной близости к газотранспортной системе.

Подача газа осуществляется населенным пунктам, расположенным в радиусе не более 20-25 км от газотранспортных систем. В связи с этим обширные зоны в регионах не охвачены системами газификации. Кроме того,

на стыках областей газификация затруднена даже при наличии газотранспортных систем - из-за лимитирования подачи газа.

Газификация путем строительства локальных газопроводов-отводов не обеспечивает достаточную надежность газоснабжения в периоды пиковых похолоданий, при которых интенсивный газоотбор городами и промышленными предприятиями приводит к недоподаче газа тупиковым потребителям. По официальным данным в настоящее время потери производства в газифицированных районах в периоды пиковых похолоданий составляют около 120 млрд. руб. в год.

Решение этой проблемы возможно с разработкой автономных систем газоснабжения населенных пунктов с применением передвижных автогазозаправщиков как на постоянной основе, так и по временной схеме - до подключения к магистральной системе газоснабжения. При этом создаются необходимая инфраструктура и объекты газоснабжения, которые сразу включаются в работу, создавая новые рабочие места, точки роста экономики и окупая при этом издержки по обслуживанию системы газоснабжения [1].

В последние годы в стране значительно расширилась сеть автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС), что создает предпосылки для использования в целях газоснабжения потребителей, как альтернативу подаче газа по газопроводам-отводам, передвижных автогазозаправщиков (ПАГЗ) и газоаккумулирующих установок (ГАУ), размещаемых непосредственно у потребителя. При этом газозаправщики, загружаясь на АГНКС, совершают регулярные рейсы к потребителям, где они могут разгружаться непосредственно в сеть низкого давления или в газоаккумулирующие емкости. Принципиальная схема комплекса ПАГЗ+ГАУ показана на рисунок 1.

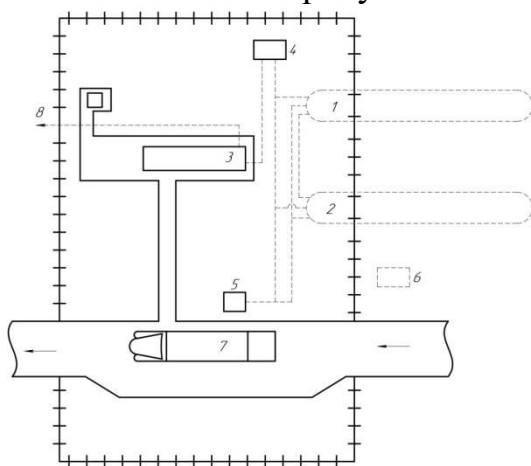


Рисунок 1 принципиальная схема ПАГЗ+ГАУ:

1 и 2 – секции ГАУ с рабочим давлением соответственно 7,5 и 1,6 МПа; 3 – узел редуцирования газа; 4 – узел подогрева газа; 5 – узел приема газа с автозаправщиков; 6 – емкость для сбора конденсата; 7 – площадка стоянки ПАГЗ; 8 – выход газа потребителям.



Газоаккумулирующую установку предлагается создать из двух секций, выполняемых из труб большого диаметра. В первой из них рабочее давление принято равным 7,5 МПа, во второй - 1,6 МПа.

Работу газоаккумулирующей установки можно условно разделить на два этапа. На первом из них заполнение ГАУ производится без выдачи газа потребителю. После ПАГЗа газ распределяется на два потока: первый - идет на заполнение секции с давлением 7,5 МПа, второй - на секцию с низким давлением 1,6 МПа. Заполнение ГАУ прекращается после того, как в каждой из секций устанавливается соответствующее рабочее давление.

Второй этап связан с подачей газа потребителю, которая может осуществляться как из секций, так и одновременно из ПАГЗа и секций.

В основном отбор газа производится из секций с низким давлением. Далее, по мере падения давления в данной секции, происходит ее подпитка из секции высокого давления.

При оценке экономической целесообразности использования ПАГЗов для газоснабжения потребителей определение только лишь абсолютной их эффективности не способно в полной мере отразить преимущества данного способа газоснабжения. Более полную характеристику в данном случае дает определение относительной эффективности при сравнении с альтернативным вариантом - газоснабжение с помощью газопроводов-отводов.

Сопоставление вариантов выполнено по критерию минимума приведенных затрат на 1000 м<sup>3</sup> транспортируемого газа дифференцированно при различной протяженности отводов и маршрутах ПАГЗ, а также объемах газопотребления. В результате сравнения был определен укрупненный оценочный критерий - расстояние потребителя от источника газа с учетом потребности в газе, при котором использование ПАГЗ становится экономически выгодным.

При сравнении были рассмотрены два варианта по типам ПАГЗов: I вариант – ПАГЗ-4300; II вариант – ПАГЗ-5000. Расчеты производились на основании определения производительности ПАГЗов, их числа в зависимости от протяженности маршрута и объема газопотребления. Стоимость труб для ГАУ рассчитана для трехсуточного запаса газа. Это позволило определить зоны эффективного применения комплекса ПАГЗ+ГАУ по сравнению с газопроводами-отводами дифференцированно по объемам газопотребления и расстояниям до потребителей [2].

Для ПАГЗ-5000 предпочтительно применение на расстояние более 25 км при объемах газопотребления до 4,2 млн. м<sup>3</sup>/год. При больших объемах интервал применения ПАГЗ сокращается и при объеме свыше 9,8 млн. м<sup>3</sup>/год предпочтение следует отдавать газопроводам-отводам. При использовании ПАГЗ-4300 для малых объемов газопотребления интервал его использования несколько расширяется по сравнению с ПАГЗ-5000 и при Q до 4,2 млн. м<sup>3</sup>/год нижняя граница колеблется от 9 до 20 км. При больших объемах зона применения рассматриваемого ПАГЗ сужается и при Q свыше 7,5 млн. м<sup>3</sup>/год его использование нецелесообразно.

Следует отметить, что при малых объемах газопотребления (до 3,6 млн. м<sup>3</sup>/год) принятым для расчета числом ПАГЗов (1 шт.) можно обслуживать несколько потребителей при незначительном увеличении удельных приведенных затрат, что доказывает еще большую эффективность применения ПАГЗа по сравнению с газопроводом-отводом.

Необходимо принимать во внимание, что предложенные оценочные критерии применимы только на стадии предварительного выбора способа газоснабжения, а для каждого конкретного потребителя необходим более точный расчет с учетом его индивидуальных особенностей.

Использование передвижных автогазозаправщиков в комплексе с газоаккумулирующими емкостями позволит ускорить решение проблемы газификации рассредоточенных потребителей. Преимущества данного варианта газоснабжения особенно выражены при газификации потребителей в горной местности, где наиболее затруднено строительство газопроводов-отводов.

### **Список литературы**

1. Иштутин Н.А., Осередько Ю.С., Емец В.В., Шиян С.И. Возможности расширения системы газоснабжения сельских потребителей. Журнал газовая промышленность №3 1990 г. С 13-15.
2. Семенищев С.П., Килин П.Г., Передвижной автогазозаправщик ПАГЗ 4300-24,5, Транспорт на газомоторном топливе №6 от 30 декабря 2012. С 25-26.

УДК 622.24.051.5/6

## КОДИРОВАНИЕ ИЗНОСА ШАРОШЕЧНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

Симисинов А.Д.<sup>1</sup>, Симисинов И.Л.<sup>2</sup>, Захаров И.С.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», <sup>2</sup>ООО НПЦ «Технические средства бурения», <sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

*Приведена информация о шарошечном буровом инструменте для бурения шахтных вентиляционных стволов с промывкой эрлифтом на основе опыта разработки и изготовления ООО НПЦ «Технические средства бурения» (г. Н. Серги). Предложена система кодирования износа шарошек разбуривателей по системе кодов ВНИИБТ.*

**Ключевые слова:** буровой шарошечный инструмент, разбуриватель, вращательное бурение, эрлифтовый способ бурения, методика оценки износа

## CODING WEAR OF THE TOTAL TOOL FOR DRILLING LARGE DIAMETER WELLS

Simisinov A.D., Simisinov I.L., Zakharov I.S.

*Information is provided on rolling-cutter drilling tools for drilling mine ventilation shafts with airlift flushing based on experience in the development and manufacture of Scientific-Practical Center for Drilling Equipment LLC (N. Sergi). A coding system for wear of drill cones according to the VNIIBT code system is proposed.*

**Keywords:** cone drilling tool, drill, rotary drilling, airlift drilling method, wear assessment methodology

Для бурения шахтных вентиляционных стволов применяется способ роторного бурения с прямой или обратной промывкой эрлифтом [1].

Применяемый инструмент представляет собой разбуриватель, оснащенный шарошками и промывочными соплами. На рис. представлен разбуриватель 4 РШД 960 С-ВУ-ЭР, оснащенный двухопорными шарошками, установленными на сменные скобы и шарошками центральными коническими.

Комплекты шарошек, разработанные ООО НПЦ «Технические средства бурения» имеют три исполнения по количеству вершин и два – по типу вооружения: оснащаются твердосплавными зубками или стальными зубьями, армированными твердосплавной износостойкой наплавкой [2-3]:

- шарошки двухопорные со стальным зубом с твердосплавной наплавкой предназначены для установки в разбуриватели для бурения вертикальных скважин в мягких и средних неабразивных породах V-VII категории буримости сплошным забоем, имеют длину 224 мм, диаметр 330 мм, допустимая нагрузка на шарошку 170 кН.

- шарошки двухопорные с твердосплавным вооружением СШД 330 предназначены для установки в разбуриватели для бурения вертикальных скважин в мягких и средних абразивных породах V-VII категории буримости сплошным забоем, имеет длину 224 мм, диаметр 330 мм, допустимая нагрузка на шарошку 190 кН.

Для предотвращения сальникообразования и эффективного разрушения забоя все шарошки имеют венцовое исполнение.



*Рис. Разбуриватель 4 РШД 960 С-ВУ-ЭР*

Опыт эксплуатации бурового инструмента позволяет установить виды и особенности изнашивания, которые отражают всю сложность взаимодействия его с разрушаемой горной породой, забоем, стенками скважины, промывочным или продувным агентом. Воздействие на инструмент оказывает совокупность природных, технических и технологических факторов. Для правильной оценки явлений, происходящих в скважинах по состоянию инструмента, извлеченного из скважины, крайне важно выявить основной вид изнашивания.

Абразивное изнашивание превалирует при бурении абразивных пород по причине высокой концентрации абразивных частиц породы в скважинной среде. Интенсивному абразивному изнашиванию подвергаются корпуса ШД, стальные зубья, особенно в зонах калибрования стенок скважины, в зазорах между шарошкой и скобами крепления. В условиях промывки забоя потоком жидкости с вовлечением в него абразивных частиц, характерно эрозионное изнашивание. Высокие нагрузки на инструмент могут привести к износу в виде ползучести (смятия) зубьев и других металлических элементов и поверхностей долота. Вооружение шарошек подвергается скалыванию, встречается выпадение зубков. Подшипники опоры шарошки испытывают усталостное изнашивание. Заклинивание шарошки может происходить и при чрезмерном износе опоры с разворотом роликов, заполнением полости шарошки шламом. Это характерно при эрлифтных системах очистки забоев.

При диагностике отработанного инструмента важно не только выявить доминирующий вид или разновидность изнашивания, но и оценить степень износа по его наиболее изношенным и другим элементам. Наиболее употребительны методы оценки износа: взвешиванием, с помощью штангенциркуля, специальных приборов, оценка в долях, оценка по коду, замеры слепками, оценка с помощью палетки.

Наиболее доступным и распространенным методом является замер износа с помощью штангенциркуля. Однако он не позволяет оперативно произвести большое количество замеров, которое необходимо для полной характеристики износа ШД. Посредством штангенциркуля затруднительно замерить сложные конфигурации изношенной части фрезерованных зубцов шарошек, межвенцовых поверхностей ШД и др.

Оценка износа по коду заключается в измерении износа в долях элемента (зубка, стального зубца и др.) и в применении условных символов.

Существуют две системы кодирования износа шарошечных долот – ВНИИБТ РД39-2-51-78 [4] и IADC [5]. Кодирование по системе кодов IADC отличается от методики ВНИИБТ более подробным описанием элементов долота и включает 8 позиций кода (по методике ВНИИБТ - 6), хотя по объему информативности они стоят почти на одном уровне. Кроме того, в системе IADC предусмотрено описание износа по типам долот (шарошечные и PDC). Все данные фиксируются в карточке (табл. 1) согласно принятой кодировке.

Таблица

Коды износов IADC

Узел долота Код	Вооружение				Состояние опоры В	Диаметр долота G	Второстепенный износ D (не являющийся причиной отказа)	Причина подъяема R
	I износ основного вооружения	O износ периферийного вооружения	D повреждения вооружения	L локализация повреждений				
Шкала	0-8	0-8	27 позиций	10 позиций	0-8	0-4	27 позиций	20 поз.

Методика ВНИИБТ является более простой и удобной для шарошечных долот, предназначенных для бурения взрывных скважин. На основе этой методики разработана кодировка пневмоударных коронок [6].

Ниже приведено предложенная система кодирования износа двухопорных шарошек, разработанной на основе методики ВНИИБТ.

В – износ вооружения (хотя бы одного венца):

- В1 – уменьшение высоты зубьев или зубков на 0,25;
- В2 – то же на 0,5;
- В3 – то же на 0,7;
- В4 – то же на 1 (полностью).

С – наличие скола зубьев, выпадения или скола твердосплавных зубков. Их число в % записывается в скобках.

П – износ опор шарошки двухопорной:

- П1 – радиальный люфт шарошки относительно оси для шарошек диаметром менее 216 мм – 0-2 мм, более 216 мм – 0-4 мм;
- П2 – то же, для шарошек диаметром менее 216 мм – 0-5 мм, более 216 мм – 4-8 мм;
- П3 – то же, для шарошек диаметром менее 216 мм – более 5 мм, более 216 мм – более 8 мм, заедание шарошки при вращении;
- П4 – разрушение опоры;
- К – заклинивание шарошки.

А – аварийный износ:

- АВ – поломка и оставление части корпуса шарошки;
- АШ – поломка и оставление шарошки;
- АС – поломка и оставление шарошки со скобой.

Д – уменьшение диаметра шарошки (указывается в мм).

Пример: В2, С(25), П2 – Вооружение сработано на 0,5 (по высоте зубьев), 25 % зубков имеют сколы, люфт шарошек до 5 мм.

### Список литературы

1. Симисинов Д.И., Симисинов И.Л., Кочанов А.О. Унификация шарошечного инструмента для бурения скважин большого диаметра. В сборнике: Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности, сборник трудов XV международной научно-технической конференции. 2017. С. 267-270.
2. Симисинов Д.И., Симисинов И.Л. Разбуриватели шарошечные для бурения скважин по технологии RCD с обратной промывкой эрлифтом. В сборнике: Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности сборник трудов XIV международной научно-технической конференции «Чтения памяти В. Р. Кубачека». 2016. С. 223-226.
3. Симисинов Д.И., Симисинов И.Л., Кочанов А.О., Стешенко В.С. Опыт производства бурового инструмента и оборудования для бурения скважин большого диаметра. В сборнике: Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности, сборник трудов XVI международной научно-технической конференции. 2018. С. 199-202.
4. РД 39-2-51-78. Коды износа долот по методике ВНИИБТ.
5. SPE/IADC 16145 Application of the new IADC dull grading system for fixed cutter bits. 1987.
6. Симисинов Д.И., Порожский К.П. Методика оценки работоспособности и эффективности бурового оборудования и инструмента. Уральский государственный горный университет, Уральская горно-металлургическая компания. Екатеринбург 2019. 15 с.

УДК 620.179.18: 62-932.2

## ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАГНЕТАТЕЛЯ ПО ТЕРМОГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ

Степанов М.С., Иноземцев Д.А., Бунякин А.В.,  
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», г. Краснодар,  
Российская Федерация

В работе рассматриваются методы оценки технического состояния нагнетателя по термогазодинамическим параметрам. Описываются требования предъявляемые к расчетному режиму работы компрессора. А так же, основные требования, которым должна удовлетворять модель анализа технического состояния проточной части центробежного нагнетателя.

**Ключевые слова:** нагнетатель, модель, термогазодинамические параметры, диагностика, свойство.

## FEATURES OF CONSTRUCTION OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE TECHNICAL CONDITION OF THE CENTRIFUGAL SUPPLY ON THERMAL AND GAS-DYNAMIC PARAMETERS

Stepanov M.S., Inozemtsev D.A., Bunyakin A.V.

*The paper discusses methods for assessing the technical condition of a supercharger by thermodynamic parameters. The requirements for the design mode of operation of the compressor are described. And also, the basic requirements that must be met by a model for analyzing the technical condition of the flowing part of a centrifugal supercharger.*

**Keywords:** supercharger, model, thermogasdynamics parameters, diagnostics, property

Существующие методы оценки технического состояния газоздушных трактов компрессора (или газотурбинного привода) основаны на анализе тенденций изменения отклонений контролируемых и регистрируемых в процессе эксплуатации параметров от эталонных (базовых), полученных или вычисленных по результатам измерений с учетом погрешностей и допустимых отклонений показаний измерительных систем. Причем, основными критериями оценки являются как скорость изменения контролируемых параметров, так и их абсолютные значения. Следует заметить, что эти методы позволяют выявить только те факторы, которые вызывают изменение отклонений термогазодинамических параметров от средних, характерных для заданного режима значений.

Измерения термогазодинамических параметров должны производиться только для выбранного расчетного режима, так как отклонения от заданных режимов приводят к значительным разбросам вычисляемых приведенных параметров от принятого эталонного. За расчетный режим для каждого компрессора выбирается максимальный или близкий к нему по частоте вращения ротора, потому, что, в тех случаях, когда измерения информативных параметров проводятся на режимах, отличающихся от расчетных, в методы расчета отклонений необходимо вводить поправки, учи-

тывающие эти изменения. Если в процессе эксплуатации проводились регулировки, влияющие на уровень значимости отклонений термогазодинамических параметров, то при анализе тенденций изменения технического состояния компрессора эти факторы учитываются путем прибавления или вычитания, применяемого ко всем отклонениям, вызванных регулированием соответствующих величин.

В практике диагностики при наличии значительного количества признаков, можно принимать условие их независимости друг от друга, даже в случае сильных корреляционных связей между ними, что называется принципом суперпозиции.

В оптимальном варианте целевой параметр (диагностический признак) должен быть: универсальным, поддающимся количественной и качественной оценкам, статистически эффективным и однозначным, т. е. некоторой совокупности сочетаний факторов, с точностью до погрешности эксперимента (доверительного интервала), должно соответствовать одно значение целевого параметра. При этом целевой параметр желательно определять с минимальной погрешностью. [1, 2, 5]

Полное математическое описание исследуемого объекта, такого, как центробежный нагнетатель, достигается весьма сложными системами дифференциальных уравнений. Однако, математические модели, предназначенные для проведения расчетов по диагностическим операциям, могут содержать более простые уравнения, полученные упрощением полной исходной системы. Такие упрощенные модели, утрачивая второстепенные свойства полной исходной системы, тем не менее, сохраняют присущие ей основные динамические эффекты. Построение таких упрощенных математических описаний представляет собой сложную проблему, не имеющую стандартной методики и требующую индивидуального подхода. Для разработки таких моделей, как правило, привлекается вся априорная информация: конструкторская и технологическая документация, газодинамические характеристики и данные по теплофизическим свойствам перекачиваемых сред, и т.д. Кроме того, для сравнения результаты измерений с расчетными значениями, необходимо определить совокупность граничных и начальных условий. [3, 7]

Создание формализованной модели сложного динамического объекта связано со сжатием описательной и фактической информации. При построении математической диагностической модели исследуемый процесс определенным образом упрощается, схематизируется. Из бесчисленного множества факторов, действующих в реальных условиях, определяются и учитываются только важнейшие, изменение которых может привести к существенному изменению функциональных параметров системы.

Полученная на основании оценки влияния различных факторов воздействия схема идентификации описывается с помощью определенного математического аппарата или представляется другой физической системой, имитирующей выполнение поставленной задачи. В результате уста-



навливается связь между структурой, составом, техническими характеристиками системы, способами и условиями применения, с итоговыми оценками ее технического состояния в соответствии с принятыми качественными и количественными показателями. [3, 6]

Наиболее пригодны для этих целей детерминированные математические модели, которые могут выражаться через систему диагностических уравнений (конечное множество выражений, построенных для подлежащих измерению штатными приборами параметров), решив которую можно сформировать диагноз, осуществить прогноз и выдать рекомендации по предупреждению и устранению отказов исследуемого оборудования. [5]

Основные требования, которым должна удовлетворять модель анализа технического состояния проточной части центробежного нагнетателя, сводятся к следующему. Модель должна быть:

- достаточно полной, т.е. учитывать все наиболее существенные факторы, оказывающие влияние на функционирование системы в пределах, заданных технической документацией;
- относительно простой, чтобы можно было установить приемлемые для практических исследований зависимости принятых показателей от входящих в нее параметров.

Эти требования по своей сути противоречивы, но ими приходится руководствоваться при составлении диагностических моделей. Однако именно эта противоречивость требований не позволяет полностью формализовать процесс составления моделей.

При разработке математического описания диагностируемого объекта следует учитывать тот факт, что процессы, протекающие в проточной части центробежных нагнетателей (осевых компрессоров) газоперекачивающего агрегата, несмотря на существенные различия конструктивных типов, в физической сути явлений достаточно близки по формальным признакам и могут быть описаны адекватными математическими моделями. Но, для каждого агрегата в конкретных условиях работы, контроль технического состояния должен быть индивидуальным, чтобы, установив диагноз с достаточной точностью, иметь возможность принимать адекватные инженерные решения по каждому выявленному типу опасной ситуации.

Для того, чтобы построить детерминированную математическую диагностическую модель, с помощью которой возможно производить оценку технического состояния агрегата в условиях эксплуатации необходимо изучить:

- функциональное назначение и конфигурацию оборудования компрессорной установки;
- параметры работы, заданные технической документацией, отклонения которых от заданных пределов может привести к выходу из строя всей технической системы;
- принципы организации обслуживания и ремонта компрессорной установки в процессе эксплуатации;

- контролепригодность технической системы, методы и периодичность контроля основных параметров;
- распределение и характер опасности отказов основных элементов (узлов, агрегатов), согласно принятой классификации, в заданных условиях эксплуатации;
- инвариантность компоновки исследуемых объектов.

Это многообразие факторов не всегда поддается непосредственному количественному и качественному представлению в виде математических зависимостей и поэтому, в процессе создания формализованной модели объекта они могут быть заменены некоторыми обобщающими показателями и функциями.

### **Список литературы**

1. Кунина П.С., Величко Е.И., Павленко П.П. Диагностика энергетического оборудования трубопроводного транспорта нефти и газа Краснодар: Издательский Дом-Юг, 2010. - 552 с. ISBN 978-5-91718-082-3
2. Степанов М.С., Кунина П.С., Иноземцев Д.А., Дубов В.В. Образование отложений в проточной части нагнетателя после извлечения газа из подземного хранилища газа// Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2018. № 2 (112). С. 61-66.
3. Кунина П.С., Величко Е.И., Степанов М.С., Музыкантова А.В. Проблемы анализа технического состояния современных приводов компрессорных установок магистральных газопроводов// Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2019. № 3. С. 56-58.
4. Бунякин А.В., Торбеев С.А. Диагностика проточной части авиационных ГТД на примере ТРДД Д-36 // Научный вестник МГТУ ГА. - 2006. - № 109. - С. 30-37.
5. Кампсти Н. Аэродинамика компрессоров. - М.: Мир, 2000. - 686 с.
6. Назаренко И.В. Моделирование режимов работы газоперекачивающих агрегатов на основании метода группового учета аргументов / И.В. Назаренко, Н.Я. Николайчук, Н.И. Козовик // Молодой ученый. - 2014. - № 7 (66). - С. 162-170.
7. Межерецкий А.П., Корсов Ю.Г. Параметрическая диагностика газотрубинных установок для привода нагнетателей природного газа. М.: Энергомашиностроение, 1987, №2.

УДК 622.242

**ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ БАЛКИ НАПРАВЛЯЮЩЕЙ**

**Маркелов А.С.**, магистрант, **Гаврилова Л.А.**, доцент, канд. техн. наук  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург

*Приведен анализ оптимизации металлической балки направляющей буровой установки. Выявлены актуальные проблемы, возникающие при проектировании металлических конструкций оснований кустовых буровых установок. Приведены результаты исследования модели оптимизированной двутавровой балки под расчетной нагрузкой.*

**Ключевые слова:** двутавровая балка направляющей, оптимизация конструкции, основание буровой установки.

**OPTIMIZATION OF THE GUIDE BEAM DESIGN**

**Markelov A.S., Gavrilova L.A.**

*The analysis of optimization of the metal beam of the drilling rig guide is given. Actual problems that arise in the design of metal structures for the bases of cluster drilling rigs are identified. The results of the study of the optimized I-beam model under the design load are presented.*

**Keywords:** I-beam guide, optimization of the structure, the base of the drilling rig.

На сегодняшний день экономия материалов, а также экономия времени, потраченного на сборку металлоконструкций для буровых установок является не только актуальной задачей, но и одним из главных приоритетов в отрасли нефтегазового машиностроения.

Одним из наиболее сложных и наиболее нагруженных узлов любой буровой установки является основание. Основание – это буровое сооружение, предназначенное для установки на нём основного и вспомогательного оборудования, вышки, укрытий, систем жизнеобеспечения буровой установки [1]. Основание обеспечивает передачу нагрузок, возникающих в процессе монтажа и эксплуатации оборудования, на фундаменты или непосредственно на грунт, при этом оно должно обладать достаточной прочностью и соответствовать требованиям виброустойчивости и жёсткости.

Основание вышечно-лебедочного блока комбинированного типа (рис.1) состоит из ряда узлов, выполненных в модульном исполнении в сборе с оборудованием и вспомогательными механизмами. Нижний ярус основания состоит из двух основных несущих рам 2 (лонжеронов), на которых устанавливаются вышка с устройством для подъёма, модуль буровой лебедки, а также другие вспомогательные блоки и модули. Рамы опираются на блоки механизмов перемещения 3, которые, в свою очередь, устанавливаются на балки направляющих 1. Верхний ярус состоит из трех модулей и дополнительных площадок, образующих прямоугольную буровую площадку 4.

Направляющая 1 предназначена для монтажа на ней вышечно-лебедочного и других технологических блоков буровых установок кустового бурения грузоподъемностью 2700 кН и перемещения установки от одной

точки бурения на другую в пределах куста скважин при помощи механизма перемещения 3.

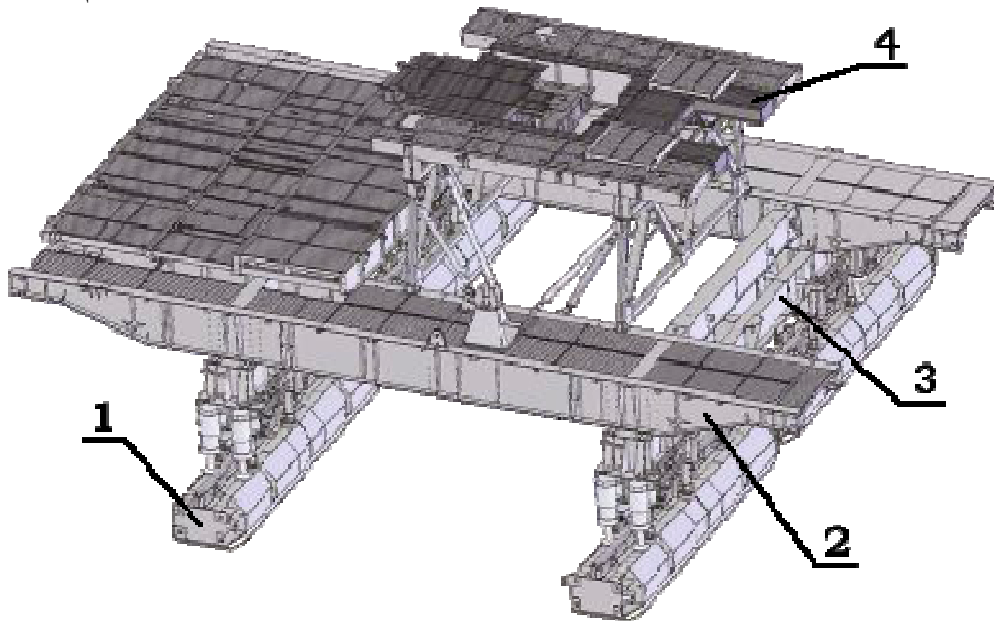


Рис. 2. Основание вышечно-лебедочного блока БУ 3000ЭУК-1М

В процессе эксплуатации буровой установки, выяснилось, что балки направляющих, имеющие в своей конструкции «частокол» поперечных рёбер, имеют ощутимый минус: между опорными поперечными рёбрами скапливается конденсат (рис.2), из-за которого накапливается разрушающий эффект. Это приводит к коррозии и повышенному износу металлоконструкций (рис.3).

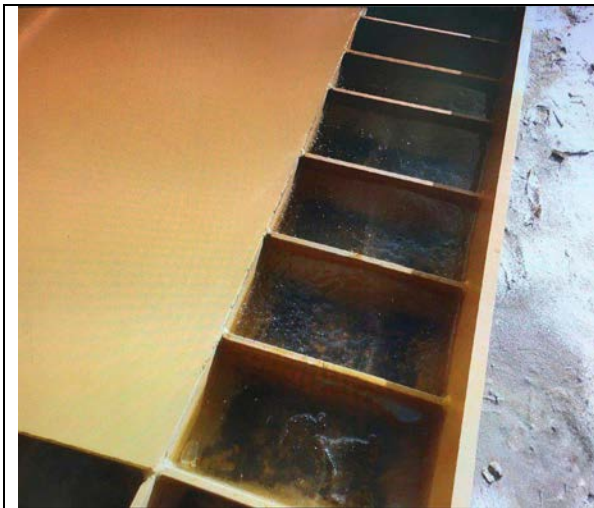


Рис. 3. Скапливание конденсата между рёбрами



Рис. 4. Коррозия металлоконструкций

Основной интерес представляют несущие конструкции, которые можно получить методом оптимизации. Уже известно несколько примеров эффективного проектирования несущих конструкций с применениями раз-

личных алгоритмов оптимизации. В качестве объекта данного исследования был принят простейший элемент конструкции типа балка.

Известно, что для балки, работающей на изгиб, наиболее эффективным решением поперечного сечения является двутавр [2]. Предметом исследования стала работа модели оптимизированной двутавровой балки под расчётной нагрузкой.

Так как при критическом уменьшении поперечных сечений балки может произойти потеря несущей способности по первой группе предельных состояний, граничными условиями оптимизации являются потеря местной устойчивости стенки и полки балки, а также максимальные напряжения, возникающие в сечениях.

Расчёт балки в процессе оптимизации проводился методом конечных элементов в соответствии со СНиП II-23-81 [3]. При расчёте были учтены нагрузки и граничные условия, а также нагрузки при следующих режимах:

- ликвидации аварии,
- выравнивания вышечно-лебедочного блока (ВЛБ),
- передвижки ВЛБ.

Для упрощения эксперимента нормативные коэффициенты не учитывались.

#### **Выводы:**

Оптимизация конструкции ранее спроектированной балки, направляющей позволила сократить:

- время сборки этой металлоконструкции на 25 %,
- объём использованного металла более чем на 30 %.

Уменьшение массы балки достигается путём отказа от «частокола» рёбер в пользу меньшего количества рёбер, но уже с защитными кожухами. При расчёте оптимизированной конструкции балки сохранён главный её параметр – несущая способность.

#### **Список литературы**

1. Порожский К.П., Гусман А.М. Б90 Буровые комплексы. Современные технологии и оборудование: Научное издание. Екатеринбург: УГГГА, 2002. 592 с. с илл.
2. Пат. 2562077 С1 Российская Федерация, МПК Е 04 С 3/02. Строительная конструкция типа балки / Б.В. Гусев; заявитель и патентообладатель Б.В. Гусев. - № 2014148693/03, заявл.03.12.14; опубл. 10.09.15, Бюл. № 25. 6 с.
3. СНиП II-23-81 «Стальные конструкции».

УДК 622.242

## СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ОСНОВАНИЯ БУРОВОЙ УСТАНОВКИ

Маркелов А.С., магистрант, Гаврилова Л.А, доцент, канд. техн. наук  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

*Разработана методика оптимизации с применением системного подхода к проектированию и эксплуатации бурового оборудования. Раскрыт процесс проектирования строительных конструкций в нефтегазовой сфере. Приведен анализ результатов оптимизации металлической балки направляющей буровой установки.*

**Ключевые слова:** системный подход, проектирование строительных конструкций, буровая установка, балка направляющей, оптимизация конструкции, основание буровой установки.

## A SYSTEMATIC APPROACH TO DESIGNING THE BASE OF A DRILLING RIG

Markelov A.S., Gavrilova L.A.

*A systematic approach to the design and operation of drilling equipment has been developed. Disclosed is the design process of building structures in the oil and gas sector. The analysis of optimization of the metal beam of the drilling rig guide is given. Identified current problems in the design of metal structures grounds spray rigs.*

**Keywords:** system approach, design of building structures, drilling rig, guide beam, design optimization, drilling rig base.

Оптимизация финансовых и временных расходов при проектировании и создании буровых установок является общемировой тенденцией. В связи с тем, что с каждым годом глубина добычи нефти и газа постоянно увеличивается, увеличиваются нагрузки и повышаются требования к нефтегазовому оборудованию. Следовательно, растет время на его изготовление и общая себестоимость буровых установок. Поэтому перед машиностроительными предприятиями возникают задачи, связанные с поиском способов оптимизации временных и стоимостных затрат.

В процессе проектирования строительных конструкций сегодня всё чаще прибегают к параметрическому компьютерному моделированию. Одной из причин актуальности такого рода моделирования является возможность удобного поиска решений сложных многопараметрических проектных задач. Таким образом, параметрическое проектирование неизбежно приходит к задаче оптимизации сложных моделей. Одним из наиболее эффективных алгоритмов оптимизации является генетический алгоритм [1]. В этой работе мы не будем останавливаться на принципах работы алгоритмов. Основной интерес представляют несущие конструкции, которые можно получить методом оптимизации.

Для создания модели оптимизации был применен системный подход к проектированию узлов буровой установки, направленный на экономию материалов при обеспечении прочности металлоконструкций.

Один из наиболее важных узлов любой буровой установки – это основание вышечно-лебедочного блока (ВЛБ), где в свою очередь, направ-

ляющие являются наиболее нагруженным элементом. В качестве объекта исследования был принят простейший элемент конструкции типа балка направляющей механизма перемещения кустовой буровой установки.

Направляющую механизма перемещения (далее – направляющая) кустовой буровой установки в составе мобильной буровой установки можно рассматривать как отдельную группу конструкций – оснований, предназначенных для монтажа на них сооружений и блоков (модулей) буровых установок, обеспечивающих передачу на грунт нагрузок, возникающих в процессе монтажа и эксплуатации оборудования. При этом исключается необходимость строительства специальных земляных фундаментов, и в ряде случаев, в зависимости от несущей способности грунта, подготовка площадки ограничивается выравниванием её под опорные балки [2, 3].

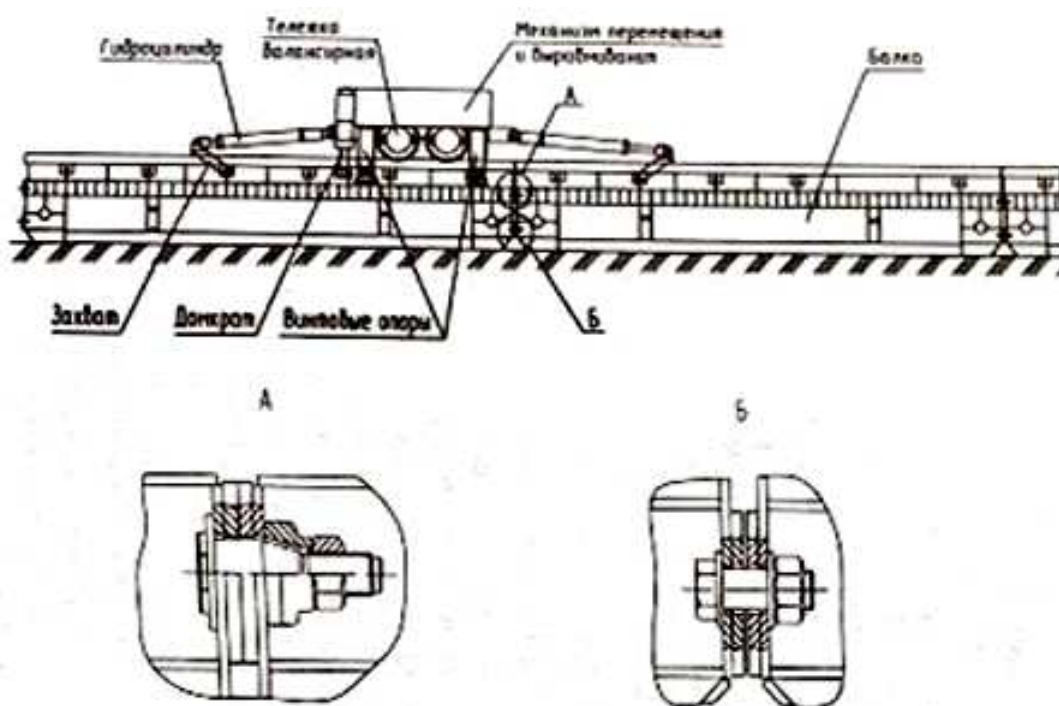


Рис. 5. Направляющая в сборе

Направляющая применяется в кустовых буровых установках и предназначена для монтажа на ней вышечно-лебёдочного и технологических блоков, перемещаемых от одной точки бурения до другой в пределах куста скважин, и восприятия усилий от узлов механизма передвижения и выравнивания (балансирных тележек, винтовых опор, домкратов, захватов и упоров). Направляющая в сборе представляет собой два и более ряда балок. Балки соединяются между собой болтовыми соединениями, ряды – тягами. Количество рядов и длина направляющей зависят от компоновки буровой установки. Конструкция направляющей позволяет перемещать буровую установку в пределах куста практически с неограниченным количеством скважин, для чего балки переставляются последовательно по направлению движения эшелона. Перемещение эшелона и выравнивание

вышечно-лебёточного блока (ВЛБ) производится при помощи механизма перемещения и выравнивания: перемещение посредством гидроцилиндров и захватов, выравнивание ВЛБ посредством домкратов и винтовых опор. Направляющая в сборе изображена на рис.1.

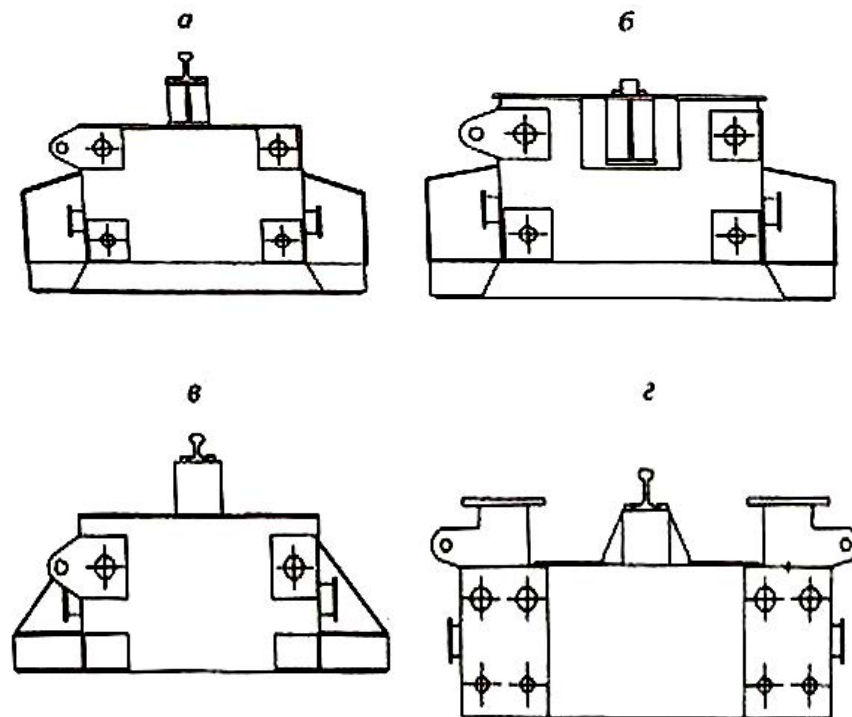


Рис. 6. Балки направляющей для буровых установок серии ЭК БМ

На рис.2 показаны типы часто применяемых балок направляющих буровых установок серии ЭК-БМ. Конструктивное исполнение балок зависит от выбранного способа передвижения эшелона по направляющей: скольжение, качение посредством балансиров и роликов или комбинированный (ВЛБ на опорах скольжения, технологические блоки на роликах). А также применяемого при бурении противовыбросового оборудования (ограничение по высоте балки).

Одним из путей снижения материалоемкости балки направляющей является оптимальное распределение материала по площадям поперечных сечений в соответствии с напряженно-деформированным состоянием элементов. Этому направлению отвечает применение тонколистовой стали для балок двутаврового сечения. Балки с гибкой, либо гофрированной стенкой по весу более экономичны, чем обычные сварные двутавры в среднем на 15-25 %.

Как правило, размеры элементов таких балок (шаг ребер, сечение стенки, амплитуда гофров) назначаются неизменными на протяжении всего пролета [4]. Это обуславливает равные значения несущей способности на сдвиг во всех сечениях балки. В результате на менее напряженных участках прочность стали используется не полностью. В связи с этим акту-



альной задачей повышения эффективности использования тонкостенных балок является оптимизация (рис.3) известных конструктивных решений с учетом характера распределения внутренних усилий от нагрузки.

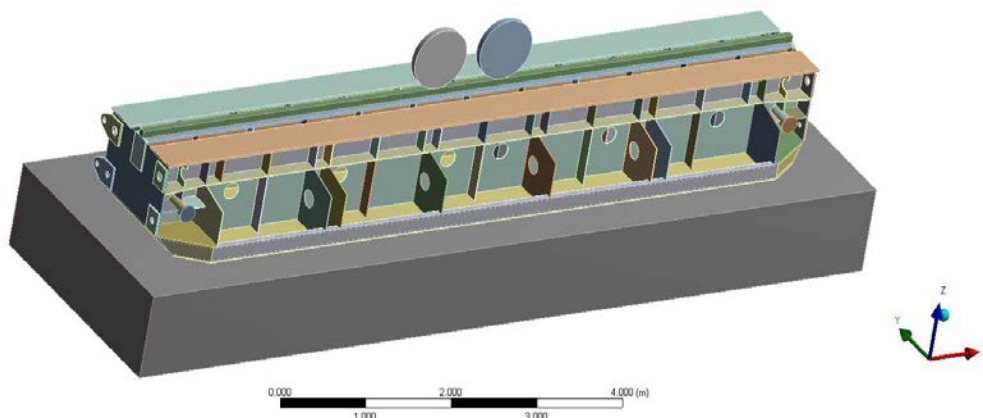


Рис. 3. Оптимизированная модель балки направляющей

### Выводы:

Системный подход к проектированию и эксплуатации оборудования позволяет выявить взаимосвязь конструктивных и технологических параметров и их влияние на эффективность использования техники, обоснование возможной модернизации или создание принципиально нового оборудования.

### Список литературы

1. Ходяков В.А. Оптимизация металлической двутавровой балки по массе с сохранением требуемой несущей способности // Научно-теоретический журнал «Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова». 2016. № 8. - с. 67–71.
2. Порожский К.П., Гусман А.М. Б90 Буровые комплексы. Современные технологии и оборудование: Научное издание. Екатеринбург: УГГГА, 2002. 592 с. с илл.
3. Порожский К.П., Головков А.С., Пасынков Д.В. Эволюция средств монтажа оснований, вышек и мачт буровых установок/ Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник докладов VIII международной научно-технической конференции «Чтения памяти В.Р. Кубачека». – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 401 с.- стр.259 -164.
4. Пат. 2562077 С1 Российская Федерация, МПК Е 04 С 3/02. Строительная конструкция типа балки / Б.В. Гусев; заявитель и патентообладатель Б.В. Гусев. - № 2014148693/03, заявл.03.12.14; опубл. 10.09.15, Бюл. № 25. 6 с.

УДК 622.323

## АВТОМАТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ РОЗЖИГА ФАКЕЛА ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПОДАЧЕ

Симонов В.А., магистрант, Комиссаров А.П., профессор  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург

*В статье описаны способы утилизации попутного газа и выбран рациональный вариант. Приведен анализ достоинств и недостатков этих способов. Описываются требования к разным элементам факельных установок, в том числе оголовкам. Предложена технологическая схема устройства для утилизации попутного нефтяного газа. Представлена 3D-модель устройства. **Ключевые слова:** попутный нефтяной газ, сжижение, вихревой эффект, природный газ, эффект Джоуля–Томсона, промышленная безопасность, факельные установки, оголовок.*

## AUTOMATIC DEVICE FOR IGNITING THE TORCH OF ASSOCIATED PETROLEUM GAS WITH PERIODIC FLOW

Simonov V.A., Komissarov A.P.

*The article describes the methods of associated gas utilization and a rational option is chosen. The analysis of advantages and disadvantages of these methods is given. The requirements for different elements of the flare units, including the heads, are described. The technological scheme of the device for utilization of associated petroleum gas is offered. A 3D model of the device is presented.*

***Keywords:** associated petroleum gas, liquefaction, vortex effect, natural gas, Joule–Thomson effect, industrial safety, flares, head.*

В настоящее время на объектах капитального строительства и технического перевооружения факельного хозяйства, согласно заданию на проектирование, проектируем факельную установку и ее обвязку.

Попутный нефтяной газ (ПНГ) - это смесь различных углеводородов, растворенных в нефти.

Существующие способы утилизации попутного нефтяного газа

Все существующие методы можно разделить на 3 группы:

- ◆ закачка обратно в пласт;
- ◆ перекачивание по трубопроводам потребителю;
- ◆ использование для собственных нужд месторождения [6].

При этом закачка в пласт и выработка электроэнергии для собственных нужд месторождения - это дешевые, но малоэффективные варианты, так как необходимо наличие подходящего пласта для закачки газа вблизи месторождения.

В предлагаемом устройстве утилизация попутного газа осуществляется путем его сжижения, при котором объем газа уменьшается в 600 раз. Это упрощает хранение и транспортирование газа.

Устройство состоит из вихревых труб, дросселей и компрессора. Охлаждение происходит посредством протекания вихревого эффекта в вихревых трубах и эффекта Джоуля-Томсона в дросселях. Устройство состоит из трех каскадов, каждый каскад состоит из вихревой трубы и дросселя [5].

На рис. 1 представлена простейшая модель вихревой трубы. Газ подается через сопло 2, далее в камере 3 происходит энергетической разделение. Охлажденный поток газа направляется через диафрагму 1, а подогретый протекает на периферии вихревой камеры и выходит через дроссель 4.

На рис. 2 приведена технологическая схема устройства для сжижения попутного нефтяного газа, на котором изображено поэтапное снижение температуры газа.

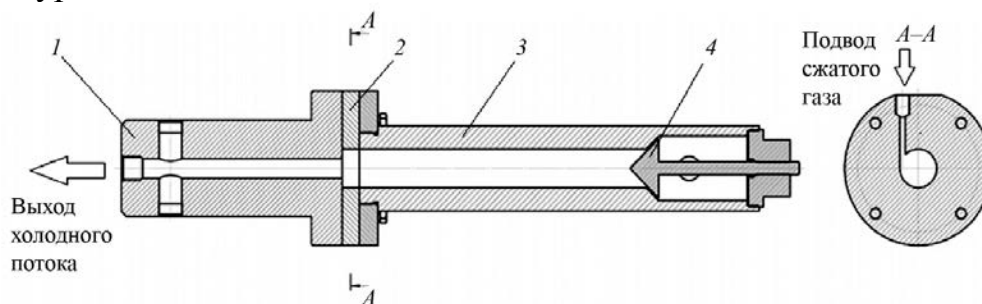


Рис. 1. Вихревая труба:

1 – диафрагма; 2 – входное сопло; 3 – вихревая камера; 4 – дроссель

Понижение температуры происходит поэтапно в каждом каскаде.

На вход в устройство подается сжатый газ после компрессора, который затем поступает в первую ВТ, где происходит эффект энергетического разделения газа (вихревой эффект) на охлажденный и подогретый потоки [2, 3]. Охлажденный поток направляется через дроссель на вход второй вихревой трубы, а подогретый поток через второй дроссель поступает на вход в устройство.

При прохождении охлажденного потока через дроссель возникает эффект Джоуля-Томсона, при котором происходит изоэнтальпийное расширение газа, вследствие чего его температура дополнительно понижается.

Во втором каскаде происходит аналогичный процесс разделения газа на охлажденный и подогретый потоки.

В третьем каскаде охлажденный поток достигает температуры кипения и поступает в сборник конденсата [11].

На рисунке приведена технологическая схема устройства для сжижения попутного нефтяного газа, на котором изображено поэтапное снижение температуры газа [1].

Понижение температуры происходит поэтапно в каждом каскаде. Устройство (см. рисунок) имеет три каскада, каждый каскад содержит вихревую трубу и дроссель. На вход в устройство компрессор подает сжатый газ, который затем поступает в первую ВТ, где происходит эффект энергетического разделения газа (вихревой эффект) на охлажденный (синий) и подогретый (красный) потоки [8].

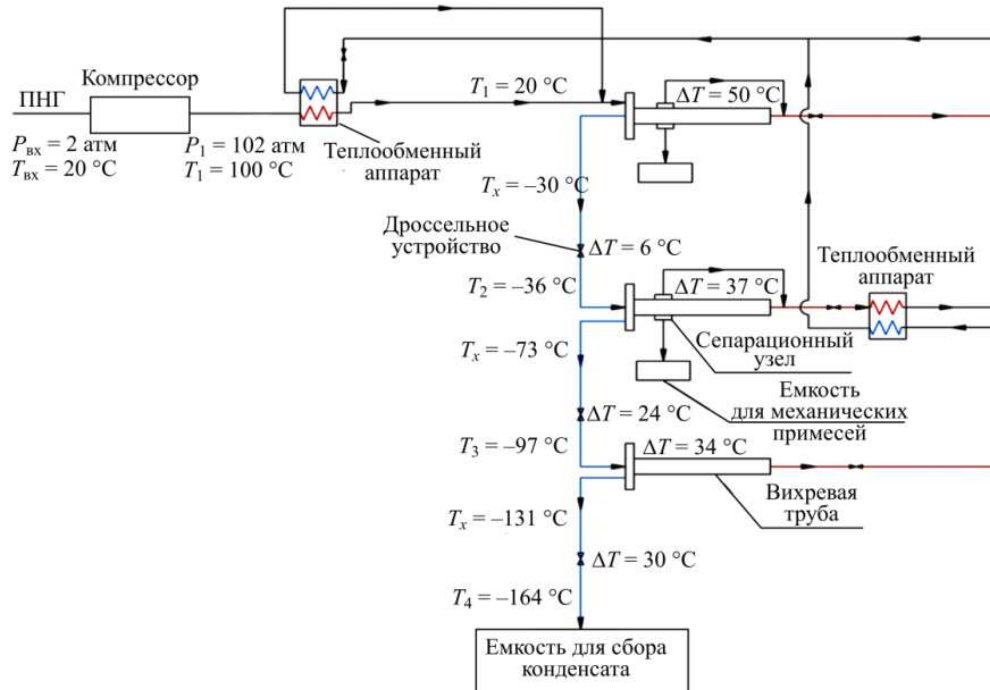


Рис. Устройство для сжижения газа

В ходе 3D-моделирования была получена схема расположения всех единиц оборудования (рис. 3). Были также получены габариты всего устройства, которое занимает 7,5 м<sup>2</sup>.

Достоинства данного устройства:

- сжижение в непосредственной близости от добывающей скважины;
- экономичность (ВТ и дроссели имеют сравнительно низкую стоимость);
- отсутствие хладагентов;
- простота обслуживания и эксплуатации [7].

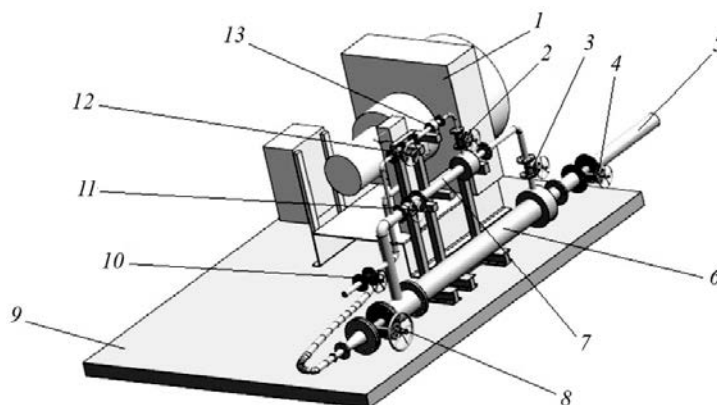


Рис. 3. 3D-модель устройства: 1 – компрессор; 2–4, 8, 11, 12 – дроссели; 6, 7, 13 – вихревые трубы; 5 – линия отвода сжиженного газа; 9 – фундамент; 10 – входная задвижка

Устройство можно также использовать для сжижения природного газа или для низкотемпературной сепарации ПНГ или природного газа.

ФО обеспечивает уровни утилизации компонентов практически до 70...90 %; защиту агрегатов и факельной установки в целом от разрушения при аварийных выбросах жидких фракций за счет их распыления и сжига-

ния; пониженный тепловой фон за счет снижения спектра инфракрасного излучения [12].

Система факельной автоматики имеет патентную защиту и комплект разрешительных документов.

Применение комплекса системы факельной автоматики СФА как современного технологического средства, включающего факельный оголовок инжекционного типа с электронными системами контроля пламени, электроискрового зажигания и автоматического управления, позволяет:

- обеспечить соответствие факельной системы современным требованиям экологии;
- обеспечить гарантированный, бесперебойный, с высоким быстродействием, автоматический, прямой розжиг и контроль пламени, как дежурных, так и основных горелок;
- исключить разрушения факельного оборудования из-за аварийных обливов и пожара, простои и внеплановые ремонты, соответственно, обеспечить снижение затрат и повышение экономической эффективности факельной системы в целом [9].

### Список литературы

1. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. – Самара: Оптима, 2015. – 184 с.
2. Оценка затрат, необходимых для использования попутного газа на ТЭС (Томская область) / И.В. Гончаров [и др.]. – Томск: ТомскНИПИнефть, 2015. – 147 с.
3. Технологические расчеты установок переработки нефти / М.А. Танатаров, М.Н. Ахмедшина, Р.А. Фасхутдинов [и др.]. – М.: Химия, 2012. – 352 с.
4. Гриценко А.И., Александров И.А., Галанин И.А. Физические методы переработки и использования газа. – М.: Недра, 2014. – 224 с.
5. Мурина В.И. Технология переработки природного газа и конденсата: Справочник. В 2 ч., Ч. 1. – М.: Недра, 2012. – 194 с.
6. Ильина М.Н. Требования к подготовке попутного нефтяного газа для малой энергетики // Изв. Томского политехнич. ун-та. – 2017. – Т. 310. – № 2. – С. 167–171.
7. Резаи Ф., Уэбли Р. Структура адсорбентов в процессах разделения газов // Технологии выделения и очистки. – Австралия: Изд-во университета Монаш, 2015. – 243 с.
8. Махорин К. Е., Хинкис П. А. Сжигание топлива в псевдоожигенном слое. Киев: Наук. Думка, 2016 — 204с.

УДК 622.276.652

## АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ УКРЫТИЙ БУРОВОЙ УСТАНОВКИ

Шахова А.А., магистр, Савинова Н.В., доц.

Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

*Статья посвящена анализу конструкции укрытий буровой установки. Описаны достоинства и выявлены недостатки конструкции. Рассмотрены пути совершенствования конструкций укрытий.*

**Ключевые слова:** *укрытие буровой установки, теплопотери, масса конструкции.*

## THE ANALYSIS OF THE DESIGNS DRILL RIG COVERS

Shakhova A.A., Savinova N.B.

*The article is devoted to the analysis of the design of the drilling rig covers. The advantages and disadvantages of the design are described. Ways of improving shelter structures are considered.*

**Keywords:** *drilling rig covers, heat losses, mass of the structure.*

При конструировании буровых установок важным условием является создание комфортных условий для обслуживающего персонала. Это повышает производительность труда работников и обеспечивает безопасность рабочего процесса.

Укрытия для буровых установок – это сооружения для обеспечения нормальной и комфортной работы персонала буровой установки. А также оно защищает работников и оборудование от негативного воздействия атмосферных явлений: сильного ветра, дождя, снега.

Конструкция укрытия (рис. 1, 2) представляет собой набор секций, состоящих из металлических рам, заполненных сэндвич панелями. Для выполнения несущих конструкций используется стандартный металлопрокат. Определенное взаимоположение секций образуют стены и потолки секций буровой установки.

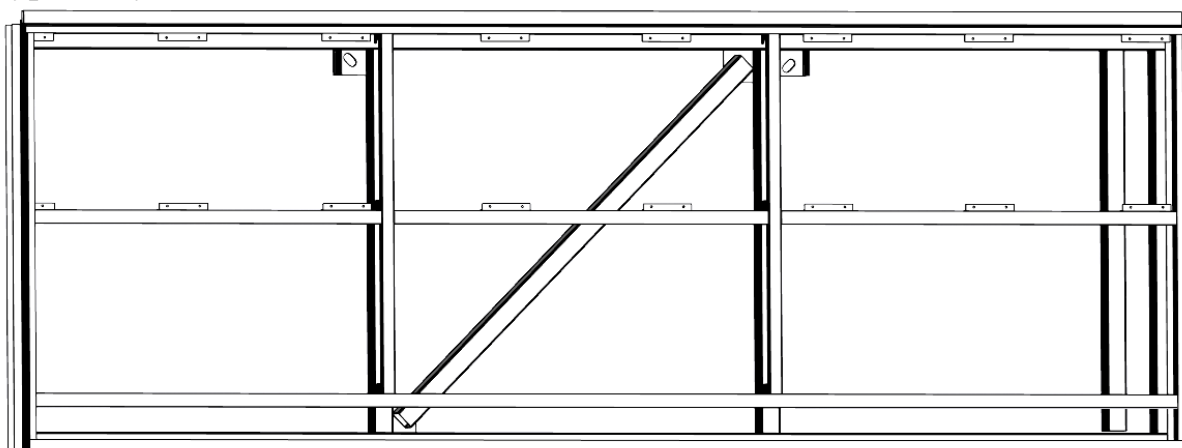


Рис. 1. Несущая конструкция панели

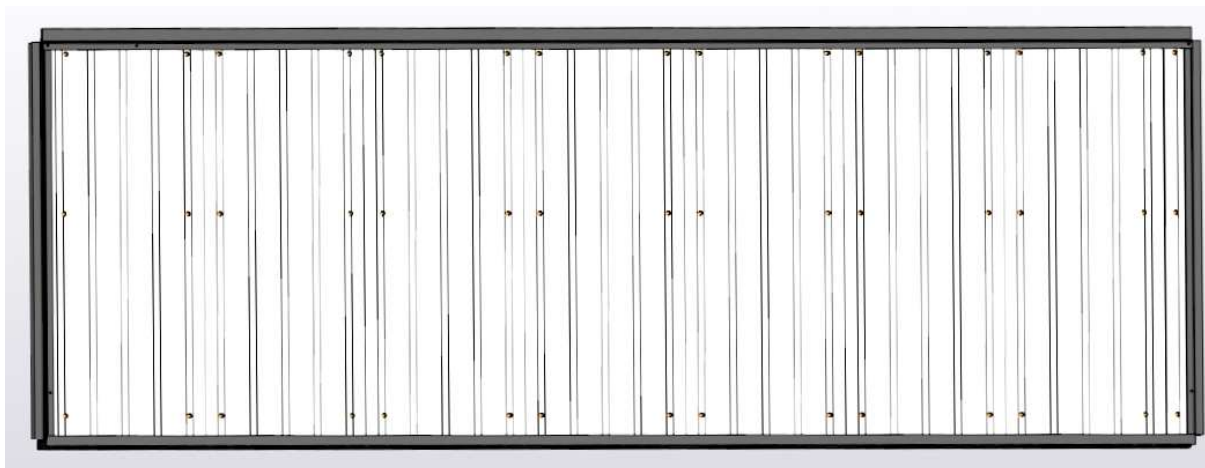


Рис. 2. Общий вид панели укрытия

Для обеспечения максимального комфорта соединения между секциями должны выполняться герметичными.

Силовая структура секций позволяет им выполнять функцию опорных конструкций для создания крыши, которая в свою очередь выполняется из аналогичных секций. Такой прием минимизирует массу укрытий в целом, в виду малого числа специальных опорных конструкций, ускоряет процесс монтажа буровой установки [1-3].

В конструкцию секций укрытий (рис. 3) входят различные дверные проемы, окна, короба, рамы и стойки для крепления электрического оборудования, кабельных каналов, трубопроводов и другого оборудования.



Рис. 3 Общий вид укрытия буровой установки

При расчете конструкции укрытий учитываются сочетания следующих нагрузок: сила тяжести несущей конструкции и сэндвич-панелей, ветровые нагрузки (согласно ветровому региону), снеговые нагрузки (согласно снеговому региону), нагрузки от оборудования, размещенного на панелях. Так как от целостности конструкции зависит жизнь обслуживающего персонала, при расчете закладывается запас прочности в четыре единицы.

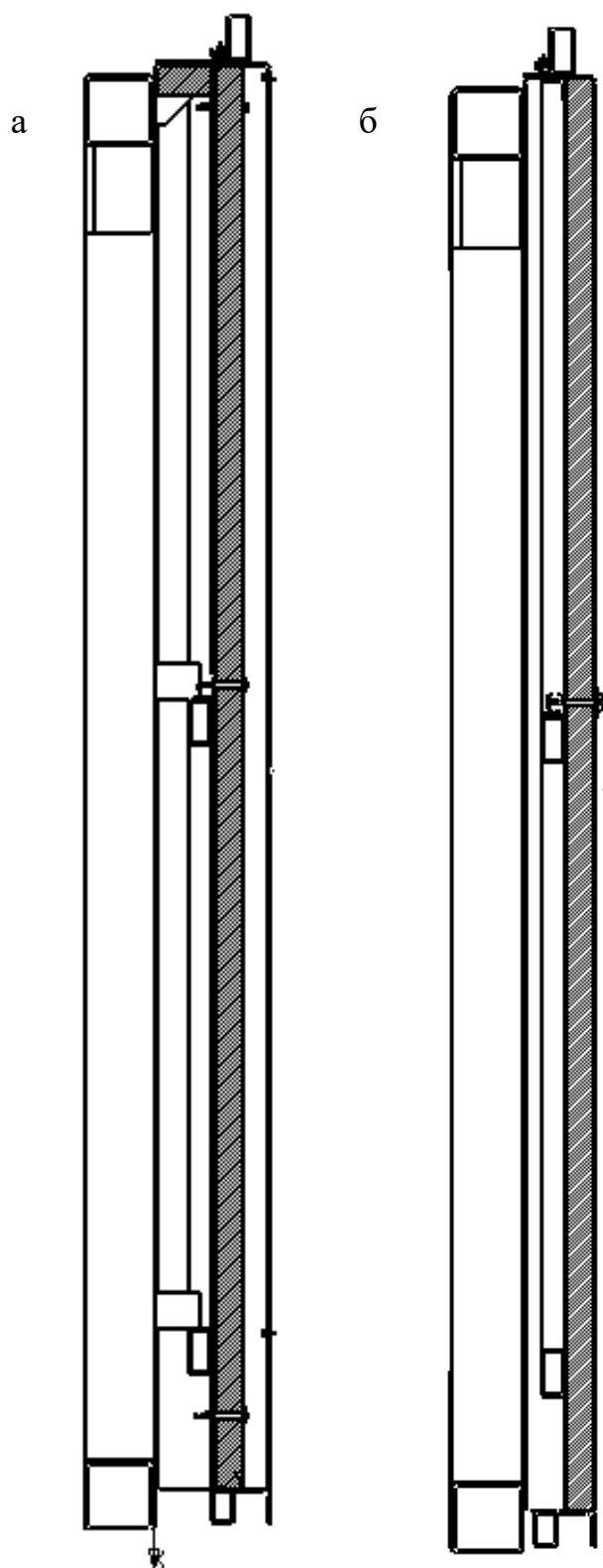


Рис. 4. Сечение секции до (а) и после (б) модернизации

уменьшена за счет замены гнutoго швеллера шириной 200 мм на 120 мм; снижения количества болтовых соединений. Удалены группы крепежа из

Недостатками таких секционных укрытий является теплопотери, вызванные не герметичностью соединения между секциями. В одном таком соединении возможны потери тепла 2-3 %. Для укрытия в целом теплопотери могут составить до 30% от общего количества тепла. Так, например, для одной панели с габаритами 2400x2500 мм теплопотери составляют 243,75 кВт·ч, непосредственно для соединения 0,5 кВт·ч.

Другим важным недостатком укрытия является его большая масса. Общая масса секций укрытия буровой установки составляет порядка 20 тонн. Для использования такого укрытия на буровую установку, рассчитанную на рабочее оборудование и металлоконструкцию для тентового укрытия, потребуется усилить конструкцию основания буровой установки.

Для снижения массы рассматривается вариант уменьшения числа болтовых соединений, которые крепят сэндвич-панели к несущей раме. Наличие большого количества болтовых соединений в конструкции, увеличивает массу и затраты времени при монтаже конструкции.

В предлагаемом варианте конструкции укрытия, представленном на рис. 4, масса



верхней и нижней части секции, сэндвич-панели фиксируются там элементами металлоконструкции.

Общий вид усовершенствованной панели укрытия представлен на рис. 5.

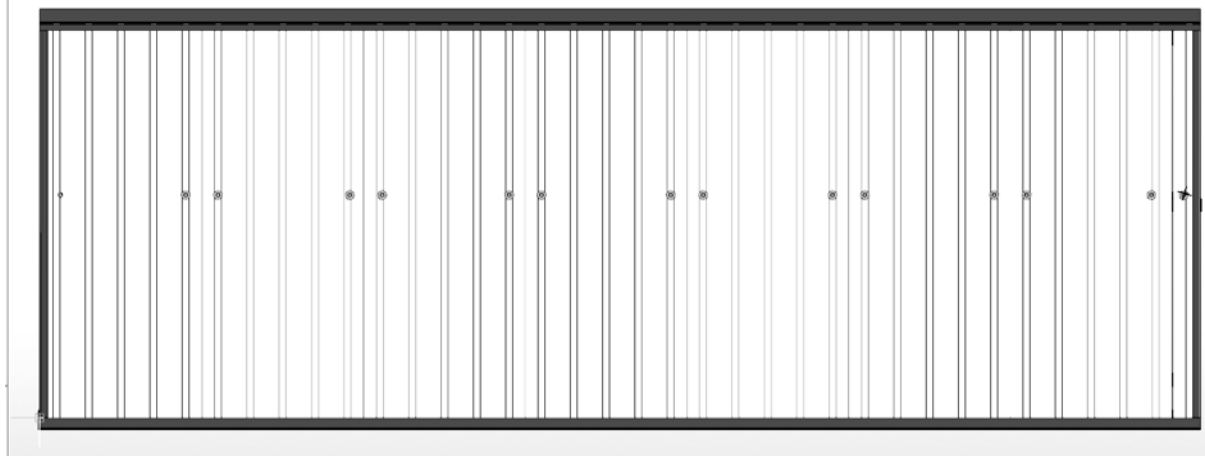


Рис. 5. Общий вид усовершенствованной панели

**Выводы.** Принятые решения позволили уменьшить массу секции на 4 %. Общая масса укрытия буровой снизилась на 2,5 %. Уменьшение количества болтовых соединений, сократило трудозатраты на сборку панели на 1,5 %. На 0,5 % уменьшилось количество технологических операций, за счет использования меньшего числа уголков с отверстиями.

### Список литературы

1. К.П. Прожский и др. Буровые комплексы/ Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 151000.62 – «Технологические машины и оборудование» профиля «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов», Екатеринбург: УГГУ, 2013, 768с.
2. Тихомиров К. В. Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. 1981. – 272 с.
3. Бендерский Борис Техническая термодинамика и теплопередача; Palmarium Academic Publishing - М., 2012. - 268 с.

УДК 622.063.23

## ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПАРАМЕТРОВ ПРОХОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ВЫРАБОТОК МАЛОГО СЕЧЕНИЯ

Юнгмейстер Д.А., д.т.н., профессор, Уразбахтин Р.Ю., ассистент,  
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», г. Санкт-Петербург

*Рассмотрены конструкции различных горных машин для проведения горизонтальных и наклонных выработок. Представлены результаты обоснования конструкции проходческого комплекса, указано, что предлагаемое техническое решение проходческого комплекса позволит повысить скорость проведения выработок малого сечения и безопасность ведения горноспасательных работ.*

**Ключевые слова:** забой, проходческий комплекс, сменный исполнительный орган, ударник, коронка.

## JUSTIFICATION OF DESIGN AND PARAMETERS TUNNEL COMPLEX FOR SMALL SECTION WORKINGS

Yungmeister D.A. Urazbakhtin R.YU.

*The designs of various mining machines for horizontal and inclined workings are considered. The results of the justification of the construction of the tunnel complex are presented, it is indicated that the proposed technical solution of the tunnel complex will increase the speed of development of small sections and the safety of mining operations.*

**Keywords:** face, tunneling complex, shift executive body, drummer, crown.

Среди оборудования для проходки горизонтальных выработок в настоящее время известны тоннелепроходческие комплексы (рис. 1, а–г), устройства для проведения выработок малого сечения в слабоустойчивых грунтах и крепких породах (рис.2 а–в) [1, 2, 3, 4].

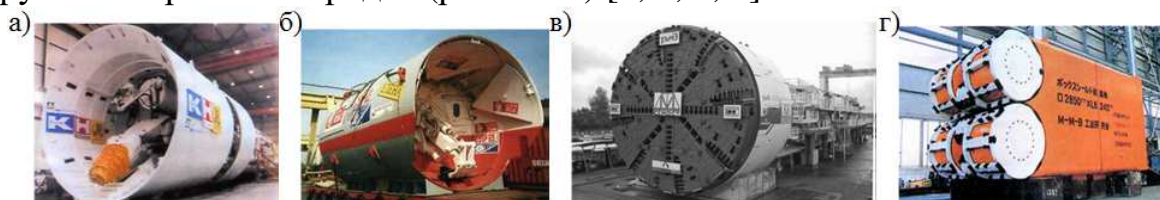


Рис. 1 – Конструкции тоннелепроходческих комплексов с исполнительным органом:  
а) избирательного действия; б) экскаваторного типа; в) роторным; г) барабанным

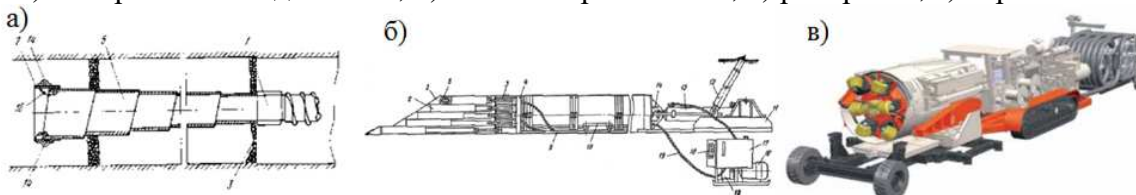


Рис.2 – Устройства для проведения выработок малого сечения:  
а) в завалах; б) в слабоустойчивых грунтах; в) в крепких породах

При проведении выработок малого сечения не представляется возможным использовать существующее проходческое оборудование, поскольку проходческие комплексы и устройства (рис. 1, а–г, рис. 2, а–в) имеют крупные габариты, большую массу, высокий уровень сложности монтажно-демонтажных работ, ограниченную область использования ком-

плекса в породах различной крепости, наличие стартового оборудования, усложняющего МДР.

Кроме того, на сегодняшний день для спасения горняков на угольных шахтах выработки проходятся вручную. На кафедре машиностроения разработан и запатентован проходческий комплекс [5], состоящий из быстро-сборных модульных узлов (см. табл. 1), обеспечивающий механизацию проведения выработок малого сечения по породам различной крепости и кровлям переменной устойчивости, исключив трудоемкий ручной труд и снизив при этом сроки проходческих работ.

Суммарное время проходки эвакуационной выработки малого сечения механизированным способом, с учетом подготовительных и монтажно-демонтажных работ, должно быть меньше, в сравнении с ручным способом, поэтому необходимо выполнять следующие условия:

- наличие проходческого комплекса для проведения скоростных эвакуационных выработок в подразделениях ВГСЧ во всех добывающих регионах РФ;
- максимальная масса узлов комплекса не должна превышать 200 кг;
- наличие обученного персонала.

Для уменьшения сроков проходческих работ при проведении выработки малого сечения и соответственно повышения скорости проходки разработан алгоритм операций проведения проходческой выработки на основе указанного алгоритма создана имитационная модель функционирования проходческого комплекса при проходке выработок малого сечения с использованием различных исполнительных органов для обработки забоя в породах различной крепости; крепления кровли переменной устойчивости над проходческим оборудованием и крепления пройденной выработки комплектами рам специальной конструкции [6].

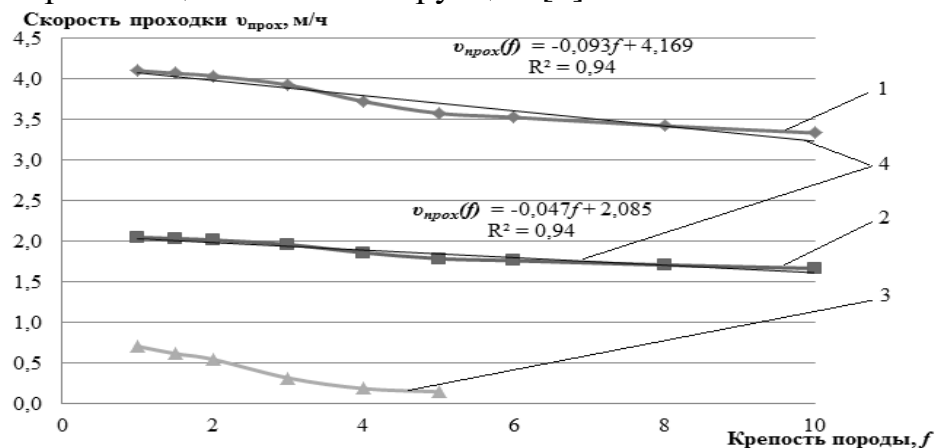


Рис. 3 – Результаты имитационного моделирования: график зависимости скорости проведения выработки малого сечения от крепости пород ( $f$ ) при использовании: 1 – проходческого комплекса с шагом передвижки (частотой крепления) каждый 1 м; 2 – проходческого комплекса с шагом передвижки каждые 0,5 м; 3 – ручного труда с шагом крепления выработки каждые 0,5 м; 4 – проходческого комплекса (усредненные значения скоростей проходки)

Таблица 1 – Узлы проходческого комплекса

№	Назначение	Проходческий комплекс		
		Наименование	Кол-во, шт	Габариты*, мм
1.	Оборудование для обработки забоя	1. Проходческая машина с манипулятором.	1	597x600x1500
		2. <i>Исполнительные органы проходческой машины:</i>		
		2.1. Коронка;	1	$l_k=300; D_k=300$
		2.2. Гидравлический молот Atlas Copco SB 52;	1	$l_n=300$
		2.2.1. Пика.	1	$l_n=170; D_n=40$
		2.3. Дисковая пила;	1	$D_d=400$
		2.4. Гидролом;	1	550x700x200
2.5. Ножницы по металлу.	1	250x720		
2.	Оборудование для транспортировки породы	1. Платформа с нагребными лапами;	1	2000x275x500
		2. Перегрузатель забойный;	1	500x1000x1000
		3. Ленточный перегружатель.	20	500x1000x5000
3.	Оборудования для поддержания кровли выработки над рабочими и оборудованием	1. Механизированная шагающая крепь:		
		1.1. <i>Основание крепи:</i>		
		1.1.1. Модули основания	16	500x50x500
		1.2. <i>Верхнее перекрытие крепи:</i>		
		1.2.1. Модули перекрытия	16	500x50x500
		1.3. Гидравлические стойки крепи (вертикальные)	4	$D_{поршня}=125, a=972, b=700$
		1.4. Гидродомкраты передвижки (горизонтальные)	2	$D_{поршня}=125, a=413, b=150$
1.5. Маслостанция	1	500x700x500		
1.6. Крепеустановщик	1	500x1000x1000		
4.	Оборудование для доставки материалов крепления и различных грузов	1. Лебедка тяговая электрическая	1	935x372x430
5.	Оборудование для проветривания выработки	1. Шахтный вентилятор ВМЭ-4;	1	400x590x600
		2. Труба вентиляционная гибкая шахтная ТВГШ	20	$l_m=5000; D_m=400$
6.	Комплект рам для крепления эвакуационной сбойки	<i>Высокопрочная трапецевидная металлическая крепь:</i>		
		1.1. Боковые стойки;	2	1500x60
		1.2. Центральная стойка;	1	1500x60
		1.3. Перекладина;	1	1400x60
		1.3. Элементы затяжки;	54	150x500
1.4. Крепежи.	200	-		

\*ШхВхГ – (ширина, высота, глубина),  $D$  – диаметр,  $l$  – длина,  $a$  – межцентровое расстояние,  $b$  – ход поршня.

По результатам имитационного моделирования, которые представлены на рисунке 3 (см. выше), видно, что на величину скорости проведения выработки малого сечения значительное влияние оказывают крепость пород  $f$ , а также устойчивость кровли и боков выработки. Например, даже в сложных горно-геологических условиях, когда породный состав забоя меняется ( $f=2-6$ ), и появляется необходимость смены исполнительного органа проходческого комбайна, частого крепления пройденной выработки (каждые 0,5 м), скорость проходки комплексом как минимум в 3,5 раза выше, чем скорость проведения сбойки вручную шахтерами по однородному забоя ( $f=2$ ) с использованием минимального технического оснащения (ручных инструментов).

Для промышленного использования проходческого комплекса, используемого при проведении скоростных выработок малого сечения и повышения безопасности ведения горноспасательных работ, требуется выполнение рабочих чертежей, изготовление опытного образца и испытание комплекса в подземных условиях, при этом приблизительная потребность проходческих комплексов для ВГСЧ составляет 20 штук.

#### Список литературы.

1. Бреннер, В. А. Щитовые проходческие комплексы / В. А. Бреннер, А. Б. Жабин, М. М. Щеголевский. - М.: Издательство «Горная книга». – 2009. – 447 с.
2. Патент № 2067175 Российская Федерация, E21D9/06. Агрегат для проведения выработок по завалу / А.Ф. Эллер, Н.Б. Пушкина; Заявл. 08.02.1994. Опубл. 27.09.1996.
3. Авторское свидетельство СССР №534569. Устройство для проведения спасательных эвакуационных выработок в шахтных завалах/ Попович А. А., Дыдзинский В. В., Горбатов В. С., Короленко В. Г.; Заявл. 18.03.1969. Опубл. 05.11.1976.
4. Kogler, P. Blind boring system. Third International Platinum Conference 'Platinum in Transformation', The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, pp. 277–284, 2008. [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.saimm.co.za/Conferences/Pt2008/277-284\\_Kogler.pdf](https://www.saimm.co.za/Conferences/Pt2008/277-284_Kogler.pdf) (дата обращения: 05.07.2019).
5. Патент № 2612165 Российская Федерация, МКП E21F 11/00. Устройство для проведения спасательных работ / Д. А. Юнгмейстер, Р. Ю. Уразбахтин, Г. В. Соколова, заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский горный университет. – № 2016116428; заявл. 26.04.2016, опубл. 02.03.2017, Бюл. № 7.
6. Urazbakhtin, R.Yu. The results of studies of the tunneling rescue complex for coal mines/ R.Yu. Urazbakhtin, D.A. Yungmeyster. 2019. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 560 012130. [Электронный ресурс]. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/560/1/012130/pdf> (дата обращения: 15.08.2019).

УДК 550.832

## НОВЫЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ПРИВОД ДЛЯ СКВАЖИННЫХ ПРИБОРОВ

Яконовская Т.Б.<sup>1</sup>, доц., Жигульская А.И.<sup>1</sup>, доц. Яконовский П.А.<sup>2</sup>, гл. инж. констр., к.т.н., Оганесян А.С.<sup>1</sup>, аспирант

<sup>1</sup>Тверской государственный технический университет, г. Тверь

<sup>2</sup>TGT Oil and Gas Services, г. Казань

*Статья посвящена совершенствованию конструкции тягового привода скважинных геофизических приборов. Проводится критическое сравнение предлагаемой конструкции привода с двумя аналоговыми прототипами. Особенностью конструкции нового привода является наличие магнитной муфты с титановой перегородкой, которая изолирует расположенные в некомпенсированном объеме герметичного охранного корпуса электродвигатель и редуктор от компенсированного объема скважинного прибора. Техническим результатом предлагаемой конструкции привода является снижение токопотребления и повышение надежности привода скважинного прибора.*

**Ключевые слова:** *привод, муфта, скважинный прибор, геофизические исследования.*

## NEW GEOPHYSICAL DRIVE FOR DOWNHOLE TOOLS

**Yakonovskiy P., Yakonovskaya T., Zhigulskaya A., Oganesyanyan A.**

*The article is devoted to improving the design of the traction drive of downhole geophysical instruments. A critical comparison of the proposed drive design with two analog prototypes is made. The design feature of the new drive is the presence of a magnetic coupling with a titanium baffle, which isolates the electric motor and gearbox located in the uncompensated volume of the sealed guard housing from the compensated volume of the downhole tool. The technical result of the proposed drive design is to reduce current consumption and increase the reliability of the downhole tool drive.*

**Keywords:** *drive, coupling, downhole tool, geophysical exploration.*

Стабильная и экономически эффективная работа нефтедобывающих компаний невозможна без проведения геофизических исследований, которые, в настоящее время, являются необходимой частью геологических, буровых, эксплуатационных и ремонтных работ, проводимых при разведке, разработке и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений.

Эффективность геофизических исследований напрямую зависит от надежности скважинной геофизической аппаратуры, которая является отдельной и довольно широкой номенклатурой машиностроительной продукции. В конструкциях большинства скважинных приборов используется приводное устройство, которое предназначено для обеспечения взаимодействия подвижных рабочих органов геофизических приборов со стенкой скважины либо со стенкой трубы обсадной колонны.

Известны силовые приводы для скважинных приборов самых разных конструкций, форм и назначений, представляющие собой чаще всего приспособленные к скважинным условиям небольшие электродвигатели. Недостатком этих приводов является их невысокая мощность, большое токопотребление, низкая надежность конструкции и сравнительно большие габариты, не позволяющие наращивать мощность [1, 2].

Привод скважинных приборов относится к области геофизических исследований. Используется в приводах прижимных устройств скважинных геофизических приборов и приводах устройств для доставки приборов к забою скважин. Известен привод скважинных приборов, содержащий герметичный цилиндрический корпус, в полости которого соосно размещены электромагниты в виде последовательного ряда катушек индуктивности, питаемых от источника электрических импульсов, в каналах которых подвижно установлены якоря-сердечники. Дополнительно корпус снабжен массивными платформами, жестко закрепленными в его полости, между которыми размещены пары электромагнитов с общими якорями-сердечниками в качестве подвижных буйков (RU №52444, кл. E21B47/00, 01.08.2005 г.).

Недостатком этого устройства является отсутствие силовой винтовой пары, что ограничивает круг его использования: только в приводах для доставки приборов к забою скважин. Кроме того, через привод нельзя проложить транзитные линии связи, что ограничивает размещение привода в любой части компоновки геофизических приборов, кроме нижней части.

Наиболее близким по технической сущности и функциональному назначению является реверсивный привод скважинного геофизического прибора, содержащий электродвигатель, редуктор и силовую винтовую пару, соединенной с редуктором при помощи муфты (А.С. №628295, кл. E21B47/00 15.10.1978 г.). Однако, электродвигатель при такой конструкции привода размещен в компенсированном объеме скважинного прибора в условиях высокого давления рабочей среды жидкости (более 60 МПа), а потому такой привод способен работать только с баростойким коллекторным электродвигателем постоянного тока, что приводит к высокому токопотреблению (потреблению электроэнергии) и к низкой надежности обмоток якоря из-за сдавливания и обрыва обмоточных проводов.

В предлагаемой новой конструкции привода скважинных приборов [3] появляется возможность уменьшить силы сопротивления среды при работе привода, а также исключить сдавливание и обрыв обмоточных проводов электродвигателя. Техническим результатом предлагаемой конструкции привода является снижение токопотребления и повышение надежности привода скважинного прибора, что обеспечивается заменой конструкции муфты на магнитную муфту с перегородкой. Указанная перегородка изолирует расположенные в некомпенсированном объеме герметичного охранного корпуса электродвигатель и редуктор от компенсированного объема скважинного прибора. Перегородка магнитной муфты выполнена из титана. Использование магнитной муфты с перегородкой позволяет размещать электродвигатель и редуктор в некомпенсированном объеме герметичного охранного кожуха с воздушной средой низкого давления, что снижает токопотребление привода, так как электродвигатель и редуктор в процессе работы преодолевают силы сопротивления воздуха, которые многократно ниже, чем силы сопротивления жидкости. Размещение

электродвигателя в среде с низким давлением обеспечивает повышение надежности привода, так как исключается сдавливание и обрыв обмоточных проводов.

Таким образом, предлагаемое техническое решение позволяет уменьшить силы сопротивления среды при работе привода и исключить сдавливание и обрыв проводов обмотки электродвигателя, что снижает потребление электроэнергии и повышает надежность привода (рис. 1).

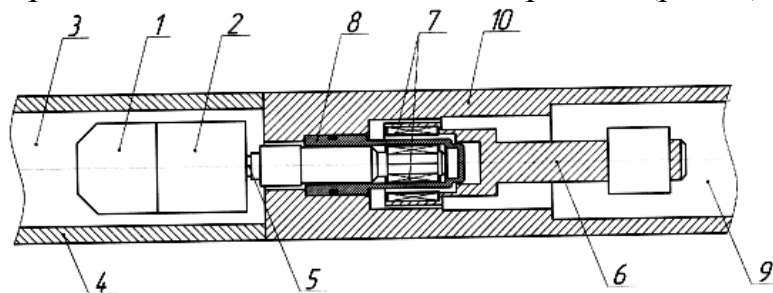


Рис. 1 Общий вид привода скважинных приборов

Привод скважинных приборов состоит из электродвигателя 1, редуктора 2, которые размещены в некомпенсированном объеме 3 герметичного охранного кожуха 4. Входной вал 5 редуктора 2 соединен с силовой винтовой парой 6 посредством магнитной муфты 7, которая содержит титановую перегородку 8, разделяющую компенсированный объем 9 скважинного прибора 10 и некомпенсированный объем 3 герметичного охранного кожуха 4. Привод скважинных приборов работает по принципу.

Электронная схема скважинного прибора 10 обеспечивает работу электродвигателя 1, и редуктора 2, которые расположены в некомпенсированном объеме 3 герметичного охранного кожуха 4 и в процессе работы преодолевают силы сопротивления воздуха, которые многократно ниже, чем силы сопротивления жидкости вследствие чего снижается токопотребление и повышается надежность привода. От выходного вала 5 редуктора 2 крутящий момент передается на силовую винтовую пару 6 посредством магнитной муфты 7 и далее к исполнительному механизму скважинного прибора 10, при этом перегородка 8 разделяет компенсированный объем 9 скважинного прибора 10 и некомпенсированный объем 3 герметичного охранного кожуха 4. Устройство находится в стадии технического предложения.

### Список литературы

1. Климов В.В., Климов Е.В. Совершенствование приборного и метрологического обеспечения в области диагностики технического состояния нефтегазовых скважин проблемы и решения // Каротажник. 2019. № 1(295). С. 15-37.
2. Маслюк А.С. Новый геофизический привод для электромеханических блоков скважинной геофизической аппаратуры // Каротажник. 2008. № 5(170). С. 127-136.
3. Привод скважинных приборов / Оганесян С.А., Яконовский П.А., Яконовская Т.Б., Жигульская А.И., Оганесян А.С., Назаров М.С., Самусенко Д.Е. Патент на полезную модель RU 146847, 20.10.2014. Заявка № 2014121877/03 от 29.05.2014.



# **ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАСЧЕТЫ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

***Чтоб трагичное мгновенье  
Горняков бежало прочь,  
Кто-то должен непременно  
Рассчитать весь риск  
точь-в-точь!***

Доц. П.А. Жиганов

УДК 622.331:553.04:622.271.9

## ДИСТОРТНОСТЬ В ОЦЕНКЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПОВЕДЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Зюзин Б.Ф., Жигульская А.И., Яконовская Т.Б.

Тверской государственной технической университет, Тверь, Россия

*Показана роль теории дистортности в оценке экспериментальных исследований. Раскрыта функциональная сущность модели «черного ящика»*

*Ключевые слова:* экспериментальные исследования, теория дистортности, модель «черного ящика».

## DISTORTION IN THE EVALUATION OF EXPERIMENTAL RESEARCH AND BEHAVIORAL DECISIONS

B. Zuzin, A.Zhigulskaaya, T. Yakonovskaya

*The role of the theory of distortion in the evaluation of experimental studies is shown. Disclosed is the functional essence of the “black box” model*

*Keywords:* experimental studies, the theory of distortion, the black box model.

При взаимодействии природных объектов экспериментальные исследования проводятся с целью выявления физических, механических, химических, экономических, социальных и других, так называемых «свойств» структурных систем. При этом мы фактически получаем информацию о реакции исследуемой системы, как природного объекта, на внешнее факторное воздействие, в результате которого данный объект, его структура и состав оказывают сопротивление, следствием которого является искажение исходного сигнала на выходные, фиксируемые в экспериментальном исследовании, параметры.

Важным фактором в исследовании взаимодействия является состояние окружающей среды или условия проведения экспериментов. Для большинства природных систем – это факторы: температура, давление, влажность, радиация и др. Так мрамор, являясь горной породой – камнем, на глубине в морях более **3000** метров, проявляет пластические характеристики. Ряд материалов при высокодисперсной механической переработке (диспергировании), по сути дела превращаясь в порошок, также обладают пластичностью.

Мы живем фактически в производном мире. То, что мы трогаем, видим, обоняем, чувствуем – есть результат проявления взаимодействия, которое в зависимости от состава и структуры объекта исследования, фиксируется изменением геометрических линейных, поверхностных и объемных показателей. Это находит проявление в определении нелинейного характера изменения выходных параметров в модели «черного ящика» (рис. 1). Здесь оценка поведенческого решения может быть проведена на основе сопоставления информационных сигналов на входе и выходе модели. Функциональный анализ, рассматривая отображения (необязательно линейные) одного пространства в другое (часть в исходное), определяет

функционалы, которые могут быть представлены поведенческими функциями в модели «черного ящика».

Цель научного познания – качественно понять причинно-следственную взаимосвязь в конкретном объекте или явлении и найти математическую модель для ее количественного анализа.

Само взаимодействие природных объектов разделяется на статическое и динамическое, где проявляется влияние потенциальной и кинетической энергии через поверхность контакта, скорость и интенсивность силового нагружения, что сопровождается такими явлениями в поведении материалов, как деформация, делатансия, компрессия и др.

Плавную и непрерывную физическую взаимосвязь математически моделируют аналитической функцией  $Y=f(X)$ .

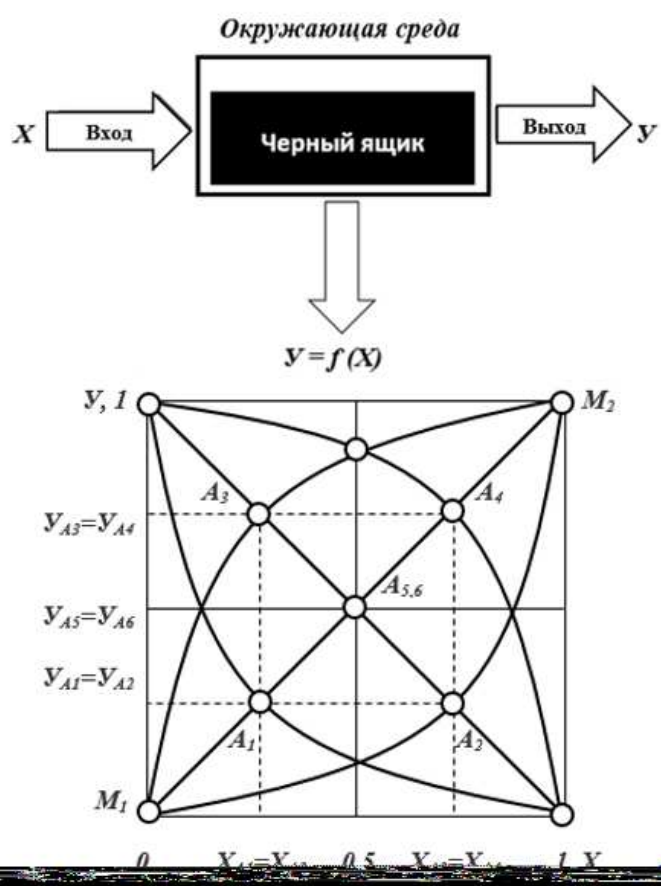


Рис. 1. Представление поведенческих функций модели «черного ящика»:  $i \rightarrow 1, 2, 3, 4, 5, 6$  – виды функций в переходном процессе,  $A_i$  – критериальные точки взаимного влияния параметров  $x$  и  $y$

Математическая модель нужна для точного и простого предсказания поведения объекта в различных ситуациях. Здесь поведенческая функция реализуется в шести типах переходных процессов (рис. 1).

При этом поведенческий функционал состоит из двух компонентов:

$$F_i = F_{ст} + F_{сл},$$

где  $F_{ст}$  – линейный тренд (статическая составляющая, функции: 5, 6)  $F_{сл}$  – нелинейное отклонение (искажение) – случайная составляющая, функции: 1, 2, 3, 4.

Пределы состояния устанавливают соответствующие качественные границы – режимы функционирования объектов природных систем и искусственного интеллекта, которые качественно характеризуют области оценки когнитивных искажений при принятии управленческих решений.

В естественных науках под когнитивными искажениями понимаются систематические ошибки в управлении или шаблонные отклонения, которые связаны с поведением и принятием решений. Они возникают на основе дисфункциональных убеждений, заложенных в когнитивные схемы, и могут быть выявлены при функциональном анализе поведенческих решений.

В основе оценки состояния природных систем и объектов искусственного интеллекта лежит функциональный анализ, главной задачей которого является изучение бесконечномерных пространств и их отображений.

При этом для функционального анализа характерно сочетание методов классического анализа, топологии, геометрии пространства и времени. Абстрагируясь от конкретных ситуаций, удается выделить основные принципы и на их основе построить естественнонаучную теорию, включающую в себя классические представления, как частный случай, и дающие возможность решать новые более сложные задачи, возникающие в техносфере, экономике, социологии.

Накопленный теоретический и практический материал позволяет сформулировать новое научное открытие в области естествознания, механики сплошных сред, информационных потоков, экономических и социальных явлений, как **дистортность** – универсальный метод в оценке возможности существования инвариантов предельных состояний в природных средах и объектах искусственного интеллекта (приоритет – 22 декабря 1994 года [1]). Она выступает, как естественнонаучная теория [2 – 12].

Смысловое значение введенного термина в переводе с английского языка (**distortion**) представлено семантическим полем таких понятий, как: искривление, неправильная форма, извращение, искажение мнений, фактов и информации (когнитивные искажения), судорожные движения (флуктуационные процессы, резонансные явления), растяжение (в медицине), деформация, коробление, перекашивание (в технике), эластичность (в экономике) [4].

Естественнонаучная теория должна описывать (моделировать) поведение идеальных систем, но таких, которым соответствуют определенные реальные объекты. Она основывается на эмпирическом материале. Именно поэтому у учёного появляется возможность оценивать правильность этой теории посредством сопоставления её следствий с эмпирическими данными. Сам процесс абстрагирования имеет самостоятельное значение, проясняя ситуацию, отбрасывая лишнее и открывая неожиданные структурные связи.

В результате удается глубже проникнуть в сущность физических явлений в структурных природных процессах и объектах искусственного интеллекта, а также предложить новые пути их исследования.

В системе приведенного квадрата (рис. 1) исходные линейные функции представляются уже в виде неких нелинейных зависимостей, уровень нелинейности  $X_A$  которых можно связать с положением критериальной точки. Количественная сторона данного показателя дает возможность использовать его в качестве обобщающего критерия оценки взаимодействия элементов структурной системы. Приведение переходной зависимости к нормализованному виду позволяет обеспечить одинаковые начальные условия оценки нелинейности переходных процессов (рис. 1).

Методика имеет общенаучное значение, ее положения могут использоваться при изучении различных процессов и явлений в области естествознания.

Принятые допущения при построении основных принципов функционального анализа (угловая геометрия) позволяют представить параметры вне связи с пространственно-временными факторами и получить результаты в инвариантном виде.

Теория дистортности в настоящее время применяется в следующих областях знания: математика и геометрия, физика, естествознание, механика грунтов и горных пород, геология, пищевая промышленность, экономика и менеджмент, трибология, эзотерика, горное и торфяное дело, техника и технология, музыка, физиология и медицина, биология и химия, педагогика, философия, экология, архитектура и строительство, искусство, космология, теория сложности, комплексная безопасность, качество образования и др.

### Список литературы

1. Миронов В.А., Зюзин Б.Ф., Лотов В.Н. Введение в дистортность: монография. Тверь: Тверской государственный технический университет, 1994, 160 с.
2. Миронов В.А., Зюзин Б.Ф., Лотов В.Н. Дистортность в механике горных пород: монография. Тверь: Тверской государственный технический университет, 1995, 196 с.
3. Миронов В.А., Зюзин Б.Ф., Лотов В.Н. Дистортность в естествознании: монография. Тверь: Тверской государственный технический университет, 1996, 160 с.
4. Миронов В.А., Зюзин Б.Ф., Лотов В.Н., Терентьев А.А. Дистортность в природных системах: монография. Минск: Беларуская навука, 1997, 415 с.
5. Миронов В.А., Зюзин Б.Ф., Богатов Б.А., Лотов В.Н. Дистортность – единство предельности Мироздания: монография. Тверь: Тверской государственный технический университет, 1999, 192 с.
6. Миронов В.А., Зюзин Б.Ф., Богатов Б.А., Лотов В.Н. Прогнозирование предельных состояний в нелинейной геомеханике: монография. Минск: ОО Белорусская горная академия, 2000. 340 с.
7. Фаринюк Ю.Т., Зюзин Б.Ф., Гамаюнов С.Н. Основы мониторинга бизнеса агрофирмы: монография. М.: Изд-во РосАКО АПК, 2004. 248 с.
8. Миронов В.А., Зюзин Б.Ф. Дистортность в сбалансированной системе показателей эффективности менеджмента: монография. Тверь: Тверской государственный технический университет, 2009. 240 с.

9. Миронов В.А., Зюзин Б.Ф. Дистортность и сакральная геометрия. Избранное. Ч. I.: монография. Тверь: Тверской государственный технический университет, 2011. 400 с.
10. Миронов В.А., Зюзин Б.Ф. Дистортность и сакральная геометрия. Избранное. Ч. II.: монография. Тверь: Тверской государственный технический университет, 2011. 416 с.
11. Миронов В.А., Зюзин Б.Ф. Инварианты дистортности: монография. Тверь: Тверской государственный технический университет, 2015. 168 с.
12. Зюзин Б.Ф., Миронов В.А. Дистортность – естественнонаучная теория: монография. Тверь: Тверской государственный технический университет, 2019. 176 с.

УДК 621.879.34

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА ТИПА ЭКГ

Альшанская А. А.

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, Россия

*Приведены результаты численного расчета нагрузок элементов рабочего карьерного экскаватора ЭКГ-12,5. Расчет выявил наиболее нагруженные положения элементов рабочего оборудования и значения воспринимаемых усилий в этих положениях.*

*Ключевые слова:* экскаватор, численный расчет

## MODELING AND NUMERICAL CALCULATION OF THE WORKING EQUIPMENT OF A QUARRY EXCAVATOR OF THE ECG TYPE

Alshanskaya A.A.

*The results of numerical calculation of loads of elements of the working pit excavator ECG - 12.5 are presented. The calculation revealed the most loaded working positions of the working equipment elements and the values of the perceived forces in these positions.*

*Keywords:* excavator, numerical calculation.

Для расчета напряженно-деформированного состояния рабочего оборудования карьерных одноковшовых экскаваторов в последние годы широко используют инженерные модули, при этом с целью расчета возникающих нагрузок проводят моделирование элементов в виде стержневых систем [1-4].

Представленные в данных работах стержневые модели рабочего оборудования экскаваторов не учитывают всей сложности кинематического взаимодействия элементов. К примеру, подъемные канаты в некоторых случаях выполнены в виде стержней, воспринимающих в том числе и изгибающие моменты и зафиксированы жестко непосредственно к какому-либо элементу рабочего оборудования, не в должной мере учитывается кинематика их взаимодействия с канатным блоком, а влияние напорных и возвратных механизмов, как правило, не учтено вовсе. Такой подход к моделированию не отображает полную картину нагрузок во время численного расчета.

Цель работы – посредством численного расчета определить для каждого из элементов рабочего оборудования экскаватора положение в процессе работы, в котором он воспринимает максимально возможные нагрузки. При этом обязательным условием является как можно более полный учет кинематических взаимодействий всех элементов оборудования.

Для проведения численного расчета нагрузок возникающих в элементах рабочего оборудования в процессе работы экскаватора, была разработана стержневая модель на примере экскаватора ЭКГ-12,5.

Численный расчет нагрузок проводился в семи возможных положениях рабочего оборудования экскаваторов [5-7]. Расчетные положения бы-

ли выбраны согласно траектории прохождения ковша экскаватора по забою и характеризуются следующим образом: положение I – начальный момент процесса копания, ковш не воспринимает усилий сопротивления породы копанию, на рабочее оборудование действует только собственный вес; во II - V положении происходит постепенное выдвижение рукояти и увеличение угла её наклона относительно стрелы, процент заполнения ковша горной массой возрастает, рабочее оборудование воспринимает усилия от сопротивления породы копанию, собственного веса и веса горной массы в ковше; в положениях VI и VII – соответственно происходит перемещение рабочего оборудования к транспортному средству для разгрузки ковша экскаватора, рабочее оборудование воспринимает нагрузки только от собственного веса и веса породы в ковше.

При разработке стержневых моделей было учтено: габаритные размеры, характеристики поперечных сечений и весовые характеристики элементов рабочего оборудования, и материал их изготовления, жесткость канатов и их взаимодействие с элементами конструкции через блоки. Соединения в элементах были смоделированы таким образом, чтобы полностью сохранить кинематику движения рабочих органов. В качестве моделей подъёмного, стрелового, напорного и возвратного канатов используются пружины, работающие только на растяжение. Жесткость пружин эквивалентна нормативной жёсткости канатов.

Расчетные силы сопротивления породы копанию, прикладываемые на ковш в численном расчете, были определены по формулам, представленным в [7,8], при этом расчет нагрузок проводился для шести категорий грунта. Результаты численных расчетов представлены в таблице 1

Таблица 1 – Усилия, возникающие в кинематических соединениях, Н

Элементы рабочих органов	Положение РО						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Головной блок – ВСС*	$1,29 \cdot 10^5$	$4,68 \cdot 10^5$	$4,99 \cdot 10^5$	<b><math>6,24 \cdot 10^5</math></b>	$5,98 \cdot 10^5$	$4,19 \cdot 10^5$	$3,04 \cdot 10^5$
НСС** – ВСС	$1,80 \cdot 10^5$	$6,70 \cdot 10^5$	$8,84 \cdot 10^5$	<b><math>1,07 \cdot 10^6</math></b>	$5,98 \cdot 10^5$	$7,56 \cdot 10^5$	$6,48 \cdot 10^5$
НСС – Подкос	$6,19 \cdot 10^4$	<b><math>1,25 \cdot 10^5</math></b>	$6,21 \cdot 10^4$	$5,97 \cdot 10^4$	$6,88 \cdot 10^4$	$4,52 \cdot 10^4$	$3,49 \cdot 10^4$
Подкос – Двухногая стойка	$7,88 \cdot 10^4$	$1,53 \cdot 10^5$	$2,61 \cdot 10^4$	$4,39 \cdot 10^4$	<b><math>5,63 \cdot 10^5</math></b>	$6,13 \cdot 10^4$	$2,51 \cdot 10^4$
Двухногая стойка – Стреловой канат	0	$1,82 \cdot 10^5$	$4,45 \cdot 10^5$	$5,62 \cdot 10^5$	<b><math>6,15 \cdot 10^5</math></b>	$4,12 \cdot 10^5$	$4,73 \cdot 10^5$

\*- Верхняя секция стрелы

\*\* - Нижняя секция стрелы



Жирным шрифтом в таблице выделены максимальные значения усилий, возникающих в соединениях элементов рабочего оборудования.

Расчеты были произведены в программе ANSYS, согласно которым видно, что при изменении угла положения рукояти и возникновения сил сопротивления породы, увеличиваются воздействия на элементы металлоконструкций.

Деформированное состояние элементов рабочего оборудования, в первом, третьем и седьмом положениях показанных на рис. 1

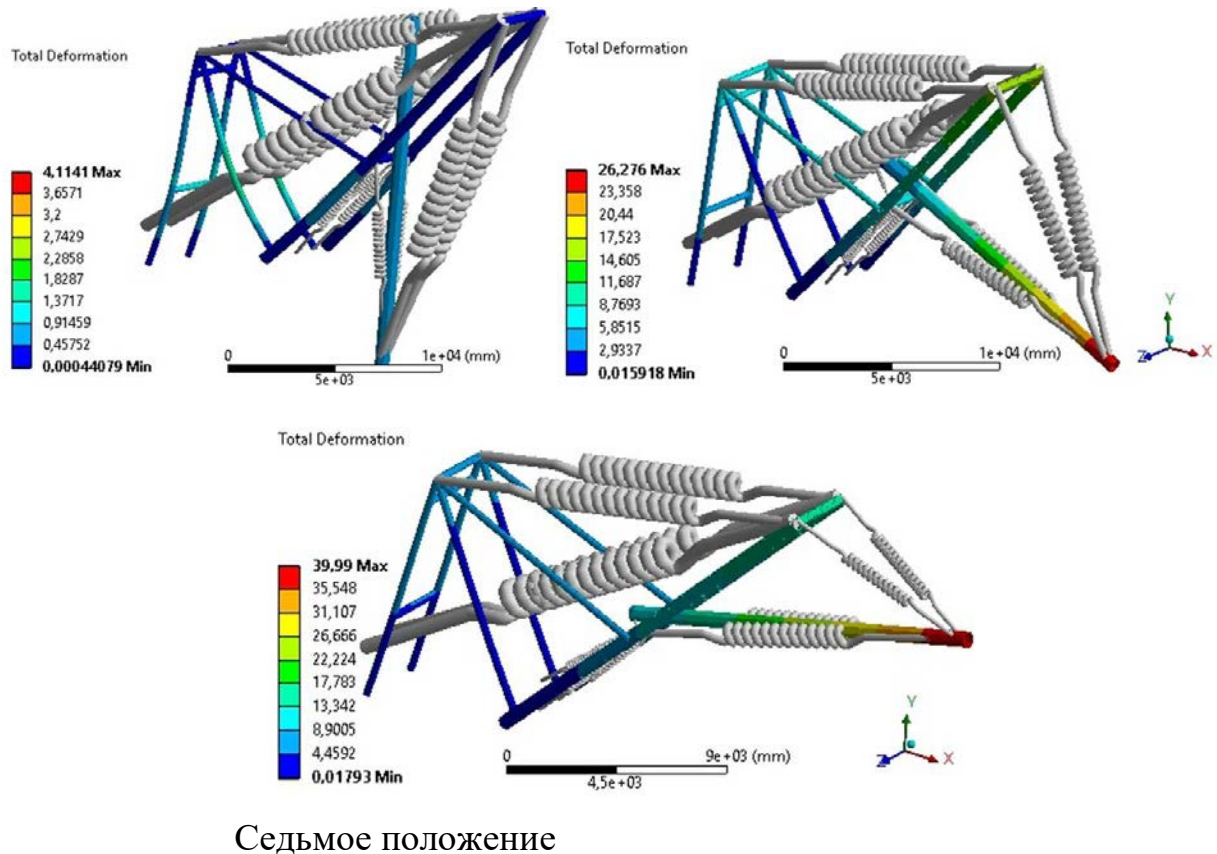


Рис. 1. Деформированное состояние (мм) оборудования в основных рабочих положениях

### Выводы:

Анализ результатов проведенных расчетов нагрузок элементов рабочего оборудования экскаватора указывает, что максимальные усилия возникают в положениях: II, IV, V. Так для расчета верхней и нижней секции стрелы достаточно взять максимальные усилия возникающие в рабочем положении IV; подкос в соединении с нижней секции стрелы воспринимает на себя максимальные усилия в рабочем положении II; тот же подкос, но в соединении с двуногой стойкой будет воспринимать максимальные усилия в положении V; а воздействие стрелового каната на верхнюю секцию стрелы достаточно принять по расчетному положению IV.

### Список литературы

1. Кыпчаков А.А., Ананин В.Г. Исследование нагрузок на рабочее оборудование карьерного экскаватора ЭКГ-15 // Избранные доклады 61-й университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых. - Томский государственный архитектурно-строительный университет 2015. – С. 413-422.
2. Ананин В.Г., Тюйменов А.И., Кыпчаков А.А. Исследование и моделирование рабочего оборудования с коленчато-рычажным напором на базе экскаватора ЭКГ-15 // Избранные доклады 63-й Университетской научно-технической конференции студентов и молодых учёных, 2017. – С. 314-318.
3. Ахпашев, А. Ю. Моделирование нагрузок в элементах рабочего оборудования одноковшового экскаватора // Молодёжь и наука: Сборник материалов VI Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных [Электронный ресурс]. — Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2011. — Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2010/section5.html>
4. Ананин В.Г. Моделирование рабочего оборудования карьерного экскаватора с механическим приводом и анализ его напряженного состояния в среде АРМ WinMachine. // Москва: «САПР и графика» 2004., № 4. – С. 22 – 24.
5. Маковеев А.В. Основные металлоконструкции мощных карьерных экскаваторов Уралмашзавода // Екатеринбург: Горное оборудование и электромеханика 2013, № 8. – С. 5-11.
6. Крутиков И.П. Экскаваторы. - Москва: Изд-во «Машиностроение», 1964. – 389 с.
7. Домбровский Н. Г., Землеройные машины. Ч. 1. Одноковшовые экскаваторы / Н. Г. Домбровский, М. И. Гальперин - Москва: Изд-во «Госстройиздат», 1961. - 651с.
8. Домбровский Н. Г. Строительные машины (в 2-х ч.). Ч. II: Учебник для студентов вузов, обучающихся по спец. «строительные и дорожные машины и оборудование» / Н. Г. Домбровский, М. И. Гальперин - Москва: Изд-во «Высшая школа», 1985. – 224 с.

УДК 624.04

## ВЛИЯНИЕ УГЛОВ КОСИНЫ НА ПРОГИБЫ ТРЕУГОЛЬНЫХ ПЛАСТИН НЕРЕГУЛЯРНОЙ ФОРМЫ

Ахмедиев С.К.<sup>1</sup>, проф..., Безкорвайный П.Г.<sup>1</sup>, ст. преп.

<sup>1</sup>Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, Казахстан

*Статья посвящена определению методики расчета напряженно-деформированного состояния изгиба изотропных и ортотропных пластин произвольной формы.*

**Ключевые слова:** узел, изгиб, нагрузка, метод конечных элементов, треугольная пластина.

## INFLUENCE OF CURVITY ANGLES ON THE BEND OF TRIANGULAR PLATES OF AN IRREGULAR SHAPE

Ahmediev S.K., Bezkorovainyy P.G.

*The article is devoted to the definition of a methodology for calculating the stress-strain state of bending of isotropic and orthotropic plates of arbitrary shape.*

**Keywords:** knot, bending, load, finite element method, triangular plate.

Пластины треугольного очертания находят широкое применение в различных элементах (деталях) конструкций машин и механизмов.

Расчет подобных объектов осложняется разнообразием их геометрии (равносторонние, равнобедренные, косоугольные), конструктивным решением (изотропные, ортотропные, анизотропные), сложностью сопротивления внешним воздействиям (сжато-растянутые, изогнутые и т.д.).

Для их расчета на несущую способность (в том числе и на исследование напряженно-деформированного состояния) используются различные методы (аналитические, вариационные, численные и т.д.).

В работе рассмотрена задача изгиба изотропных и ортотропных пластин произвольной формы в плане (при различных углах «косины» - величины углов у основания). Геометрия пластины описывается тремя параметрами (Рисунок 1):

$a$  – длина основания пластины (участок АВ);

$\alpha, \beta$  - углы наклона боковых кромок АС, СВ к основанию (в общем случае принято, что  $\alpha \neq \beta$ );

Граничные условия – различные (комбинация жестко или свободно опертых трех кромок АВ, АС, СВ).

Пластина находится в состоянии плоского поперечного изгиба от действия распределенной по поверхности нагрузки интенсивностью  $q$ .

Как известно изгиб тонких ортотропных пластин описывается дифференциальными уравнениями [1,5].

$$\eta_x \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \cdot \partial y^2} + \eta_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{q(x, y)}{D_3}, \quad (1)$$

где  $w=w(x,y)$  – функция поперечных перемещений (прогибов),

$q=q(x,y)$  – интенсивность поперечной распределенной нагрузки,

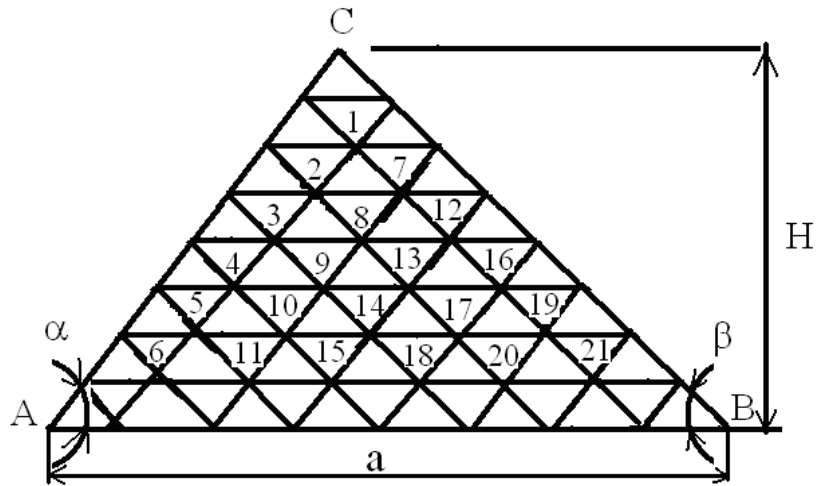


Рис. 1 – Геометрическая схема пластины с нумерацией расчетных узлов

$$\eta_x = \frac{D_1}{D_3}, \eta_y = \frac{D_2}{D_3} \quad (2)$$

- коэффициенты ортотропии, они вычисляются через жесткосные характеристики материала пластины, т.е.

$$D_1 = \frac{E_1 \delta^3}{12(1-\nu_1\nu_2)}, D_2 = \frac{E_2 \delta^3}{12(1-\nu_1\nu_2)}, D_k = \frac{G\delta^3}{12}, \quad (3)$$

$$D_3 = D_2\nu + 2D_k = \frac{E_2 \delta^3 \nu_1}{12(1-\nu_1\nu_2)} + \frac{G\delta^3}{6}$$

где  $\delta$  - толщина пластины (действительная или приведенная),  
 $E_1, E_2, G$  - модули упругости в двух координатных направлениях,  
 $\nu_1, \nu_2$  - коэффициенты Пуассона в двух координатных направлениях  
 Для изотропных пластин  $\eta_x = \eta_y = 1, D_1 = D_2 = D_3 = D$ .

Для реализации уравнения (1) применим метод конечных разностей с использованием сетки из разносторонних треугольников, что позволяет производить расчеты треугольных пластин косоугольной формы при  $\alpha \neq \beta$

Основное конечно-разностное уравнение совместности деформаций (без учета граничных условий) имеет вид (для  $i$ -го узла сетки) (Рис 2) [2, 5, 6]:

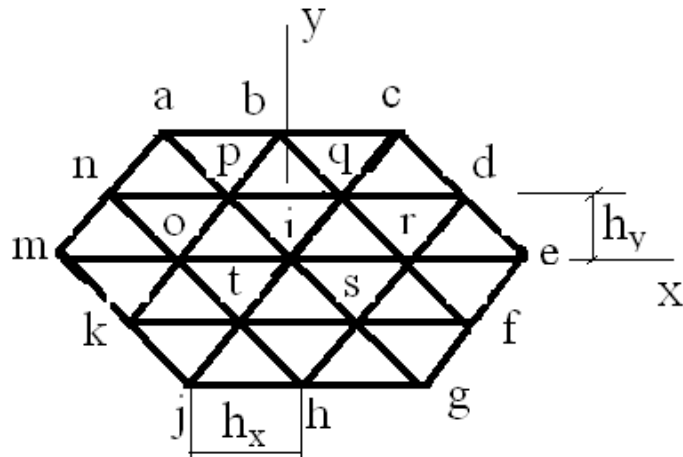


Рис. 2 – Сеточный шаблон для разносторонних треугольников

$$\begin{aligned} & \psi_1 w_i + \psi_2 (w_0 + w_r) + \psi_3 (w_p + w_s) + \psi_4 (w_q + w_t) + \psi_5 (w_n + w_f) + \psi_6 (w_b + w_h) + \\ & + \psi_7 (w_d + w_k) + \psi_8 (w_m + w_e) + \psi_9 (w_a + w_g) + \psi_{10} (w_c + w_j) = \frac{q h_y^4}{D_3} \end{aligned} \quad (4)$$

где связующие параметра  $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_{10}$  зависят от следующих факторов  $\psi(\eta_x, \eta_y, C, A, B, h_y)$ , где  $h_y = h_x \cdot C = \frac{a}{N \cdot C}$  - шаг сетки по оси Y,

N – число делений кромок пластины,  $D_3$  – приведенная изгибная жесткость материала пластины,

$$\begin{aligned} A &= \frac{\sin \beta \cdot \cos \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}; B = \frac{\sin \alpha \cdot \cos \beta}{\sin(\alpha + \beta)}; C = \frac{\sin \beta \cdot \sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}; \\ U &= C^2 - AB = \frac{\sin \alpha \cdot \sin \beta \cdot \cos(\alpha + \beta)}{\sin^2(\alpha + \beta)} \end{aligned} \quad (5)$$

Параметры определяющие геометрию пластины.

Алгоритм расчета пластины (методом конечных разностей) следующий:

Поверхность пластины накрывается «сеткой» густотой N=8 при этом, (Nb=21 – число расчетных внутриконтурных узлов Рис 1).

Для расчетных узлов записываются конечно разностное уравнения 21-го порядка вида (4), в результате образуется система алгебраических уравнений, которая в матричной форме имеет вид:

$$F \cdot \vec{W} = \vec{q} \quad (6)$$

где  $\vec{W} = \{w_1, w_2, \dots, w_{21}\}$  - вектор узловых перемещений (прогибов);

F(21x21) – разрешающая матрица 21-го порядка, составленная из связующих коэффициентов  $\psi_i (i=1, 2, \dots, 10)$  (с учетом граничных условий по кромкам пластины).

Решение уравнений (6) дает значение прогибов, в узлах сетки (рис 1) т.е.

$$\vec{W} = F^{-1} \cdot \vec{q}, \quad (7)$$

где  $F^{-1}$  - обратная матрица,  $\vec{q} = \frac{q_i \cdot h_y^4}{D_3}$ , ( $i=1, 2, \dots, 21$ ) – вектор, учитывающий интенсивность внешней нагрузки;

Внутренние усилия определяются соответствующим конечно-разностным операторами [5].

Далее приведены результаты исследования изгиба изотропных треугольных пластин;

На рисунке 3 даны прогибы шарнирно опертой по контуру треугольной пластины при изменяющейся величине угла  $\alpha = 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ , для соответствующих углов  $\beta = 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$  в расчетных узлах сетки  $i=8, 10, 17$  (Рисунок 1)

На рисунке 4 приведены прогибы треугольных пластин с различными граничными условиями по кромкам: 1 – шарнирно опертые по контуру; 2 – жестко опертые по контуру; 3 – шарнирная кромка у основания АВ (Рисунок 1) и жесткое отпирание боковых кромок АС, ВС, 4 – жесткая кромка АВ и шарнирные кромки АС, ВС при изменяющихся углах

$\alpha = 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ , для соответствующих углов  $\beta = 15^\circ, 30^\circ$  в расчетном узле 8

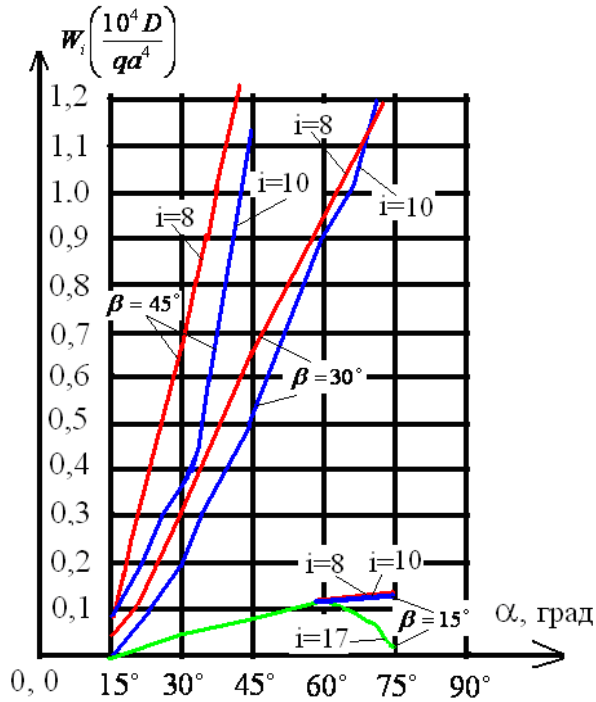


Рис. 3 – Шарнирно опертая по контуру треугольная пластина

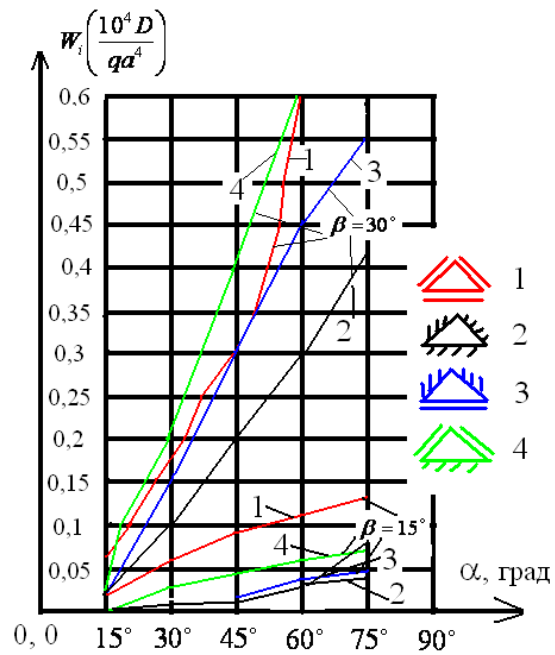


Рис. 4 – Прогибы пластины с различными граничными условиями

Выводы:

1. В данной работе приведены результаты теоретического исследования треугольных пластин произвольной формы в плане (при  $\alpha \neq \beta$ ) ортотропной и изотропной структуры;
2. Приведено основное разрешающее конечно-разностное уравнение (4);
3. После решения ряда задач по предлагаемой теории установлено следующее:
  - а) на величину прогибов существенное влияние оказывает значение углов  $\alpha$  и  $\beta$  при основании пластины (рисунок 1);
  - б) варьирование граничных условий также влияет на значение прогибов: так наличие защемленных кромок снижает величину прогибов по сравнению с шарнирными кромками (рис 4);
  - в) при увеличении угла  $\alpha$  для одних и тех же значений углов  $\beta$  прогибы в узлах сетки  $i=8, 10, 17$  резко возрастают из-за увеличения площади загрузки поверхности пластины.
  - г) приведенные на рис 3,4 графические результаты могут служить номограммами для определения прогибов треугольных пластин нерегулярной формы практически при любых углах «косины»  $\alpha, \beta$

### Список литературы

1. Варвак П.М., Варвак Л.П. Метод сеток в задачах расчета строительных конструкций – М.: Стройиздат, 1977-154с.

2. Ахмедиев С.К. Применение ЭВМ для исследования изгиба треугольных пластин. –Сборник: Конструкции и техника строительного производства. –Караганда: КарПТИ,1979. -36с.
  3. Вайнберг Д.В. Справочник по прочности, устойчивости и колебаниям пластин. – Киев: Будивельник, 1973. -488с.
  4. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений; Под ред: А.А.Уманского. - М.: Стройиздат, 1973-416с.
  5. Ахмедиев С.К. Расчеты треугольных пластин; Учебное пособие –Караганда: КарГТУ,2006-86с.
- Ахмедиев С.К., Жакибеков М.Е., Курохтина И.Н., Нугужинов Ж.С. Численное исследование напряженно-деформированного состояния конструкции типа тонких треугольных пластин и пластин средней толщины. /Научно технический журнал «Строительная механика и расчет сооружений» №2,2015. –М: ЦНИИСК им. Кучеренко, стр. 28-33.

УДК 622.014.2:658.513.011.56:681.3.001.57

## ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГОРНЫХ ПРОЦЕССОВ

**Бейсембаев К.М., Юрченко В.В., Нокина Ж.Н., Макухин О.С., Лапушкин А.А.**  
 Карагандинский государственный технический университет

*При подвигании очистных забоев в недрах упругие, пластические, прочностные свойства пород изменяются. А процессы разрушения, имея общие закономерности, могут протекать с различными скоростями в зависимости от текущего напряженно-деформированного состояния, дифференциации блока пород, где производятся работы. Идентификация горных процессов у очистных забоев для периодических процессов типа обрушения кровель за очистным забоем, их сводообразования упрощается. Система обратной связи при наличии множества математических моделей расчета состояния забоя более точна. При этом идентификация должна производиться на основе 2-3 методов, один из которых расчетный, позволяющий прогнозировать эти процессы. В этом случае можно уточнить и параметры горного массива, и расчетные модели, и их алгоритмы за счет взаимных корректировок. Важным элементом идентификации является распространение трещин обрушения в мощных слоях пород.*

**Ключевые слова:** Идентификация напряжения, пластические зоны, обрушение, трещина

## FEEDBACK AND IDENTIFICATION OF MINING PROCESSES

**Beisembaev K.M., Yurchenko V.V., Nokina Zh.N., Makukhin O.S., Lapushkin A.A.**

*With the movement of the working faces in the bowels, the elastic, plastic, strength properties of the rocks change. And the processes of destruction, having common patterns, can occur at different speeds depending on the current stress-strain state, differentiation of the rock block, where the work is done. The identification of mining processes at the working faces for periodic processes such as roof collapse behind the working face, their arch formation is simplified. The feedback system in the presence of many mathematical models for calculating the state of the face is more accurate. In this case, identification should be based on 2-3 methods, one of which is calculated, allowing to predict these processes. In this case, it is possible to clarify the parameters of the massif, and computational models, and their algorithms due to mutual adjustments. An important element of identification is the propagation of collapse cracks in thick layers of rocks.*

**Keywords:** identification, stress, plastic zones, collapse, crack

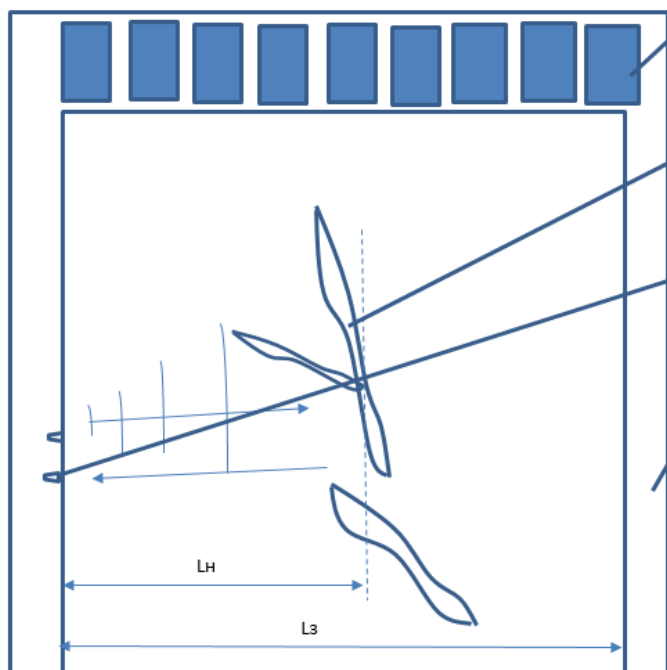
При отработке запасов залегающих в сложных условиях вопросы управления состоянием забоя и горным давлением актуализируются, поскольку нарушения встречающиеся в коротких лавах и камерах приводят к вывалообразованию. Выбрать параметры забоя и механизмов можно при наличии надежной методики расчета и правильного представления о процессах, протекающих в породах. Свойства пород их деформируемость, которую иногда характеризуют упругостью, прочностные характеристики на отрыв, изгиб не стабильны и меняются в широких пределах на разных участках шахты и даже в пределах одного участка. При этом в зависимости от состояния пород, действующей схемы нагрузок в лаве процессы обрушения слоев могут протекать с различными скоростями. Так в условиях объемного сжатия имеющего место над забоями в балке слоя пород трещина от зоны растяжения к опоре может перемещаться вниз медленно, шагами или резко разрушится от изгиба, если породы разуплотнены. Такие факты известны за счет эквивалентного моделирования забоя песчано-парафиновыми смесями, когда движение



трещины прослеживают визуально и фиксируют на видео. Известны исследования и при разрушении оптически активных материалов, где одновременно с распространением трещины удается проследить и изменения напряжений у трещины. Торможения трещины происходит при всестороннем сжатии окрестности. Небольшое снятие сжатия с некоторой стороны позволяет иницировать её рост и даже изменить направление. С развитием трещины распространяются сейсмические колебания по частоте которых можно судить о развитии в нем пластических деформаций и разрушений. Зарождение таких трещин можно рассчитывать на основе метода конечных элементов МКЭ реализованого в пакете Ansys APDL [1]. При быстром обрушении мощных слоев пород толщиной свыше 5 м находящихся не далеко от забоя акустические сигналы легко фиксируются приборами и могут достигать большой амплитуды. Аналогичная ситуация возникает и в углах сопряжения выработок [2]. Такие углы имеют место при сводообразовании где сопрягаются породы уступа над лавой с вышезалегающими слоями кровли. В отличии от обычных выработок здесь со стороны забоя можно рассмотреть два таких угла: первый со стороны зоны обрушения пород уступа в его торце, а второй - от линии забоя и кровли. Т.е. они разделены длиной уступа. Но в условиях отслоения торец уступа отходит от кровли и эта зона сильно не нагружена. Эту зону можно сравнить с углами обычных выработок, но размеры её колоссальны: высота сводообразования достигает 60 м. При этом давления в углу может достигать больших значений, а для разгрузки давления - условий нет, т.к. сопряжение заблокировано телом уступа над лавой. Как указывается в [2], следует из исследований МКЭ, и фотомоделирования здесь возникает концентрация напряжений, которая приводит к образованию мелкодисперстного пластического ядра. Оно раздроблено линиями скольжения [3] до пылевидного состояния и находится под огромным давлением оказывающим влияние на окружающую «корку». Ее внезапный разрыв инициирует выброс мелкодисперстной породы и газа, приводящих к катастрофическому явлению. Но он проявляет себя за несколько часов до начала акустическими колебаниями, а имея «акустический портрет» процесса его легко прогнозировать. Учитывая, что такие явления периодически повторяются при движении лавы их идентификация существенно упрощается. Кроме того, аналитические модели позволяют рассчитать условия их усиления, когда они проявляются и по иному, например, усилением давления на крепь в виде всплесков в управляющих компьютерах, которыми оснащена практически каждая лава в РК. Выброс есть худший случай газодинамического явления. Оно в рассматриваемых условиях чаще проявляется как сводообразование и обрушении уступа. В [2] рассмотрены обычные выработки, сечением 3\*4 м, а для сводообразования сечения достигают 60\* 70 м и результаты могут быть качественно иными. Процессы образования ядра, как показало

моделирование, во многих видах нагружения аналогичны. Так в [1] было рассмотрено нагружение керна породы штампом. Полученное ядро стремится образовать клинообразное острие напротив середины штампа ориентированное в сторону возможного разрушения, т.к. здесь давление максимально и происходят процессы близкие к самофокусировке [4]. Клинообразное острие «раздвигает» массив, а напряжения «двигающиеся» впереди «чувствуют» ослабления в массиве куда изгибаясь, смещается раздробленный материал, с резким возрастанием напряжений в сужение острия. Если толщина массива перед клином ограничена, то в самую слабую зону «прорастают» тонкие лепестки клина, повторяя траекторию одновременно образующейся трещины, разрывающей корку. После разрушения тело ядра с лепестками легко извлекается, для микроисследований. Такие явления протекают и при действии штампа, и при действии резца, но в первом случае они хорошо наблюдаемы и очевидны. Акустические колебания, сопровождающие этот процесс, объясняются явлениями при движении клиновидного ядра и формирования тонкой структуры «лепестков», что близко к [3] и является фактором идентификации. Образующиеся в результате трещинообразования освобождение упругой энергии колебания могут быть обнаружены датчиком с преобразованием звукового сигнала в электрический [5]. Суть эксперимента в том, что пьезоэлемент - звукопередатчик приводится в соприкосновение с кернами, находящимися под давлением штампа. Сигнал можно записать на осциллограф или подвести к микрофону с усилителем. Производится одновременная запись нагрузки на штамп и акустических колебаний в кернах по двум параллельным каналам. Метод чувствителен к мелким скачкам в развитии рассматриваемого процесса. Предполагаем, что амплитуда звукового сигнала, возрастает с увеличением массы охваченного колебаниями материала, и определение длины развивающейся трещины по звуковому сигналу невозможно, хотя существуют близкие методы для контроля её положения в больших массивах [6]. Поэтому акустический метод при его упрощении, лучше всего применять параллельно с другими методами. В лавах идет постоянная фиксации нагрузки на крепь, записываемая на диски компьютеров, свидетельствующая о периодически повторяющихся пиках, связанных с движением кровли. Это, в сочетании с наработанными моделями поведения пород, позволяет получить технологию взаимной корректировки данных, где уточняются параметры реального горного массива, сами модели расчета состояния пород и характеристики акустических сигналов из массива. Модели таковы, что они позволяют производить быструю прогонку данных и определение максимального соответствия расчетной модели, множества получаемых данных из массива и возможных структурных схем поведения пород, при упрощении критериев оценки. А возможности многократного повторения расчетов и прогнозирования в последующих обрушениях и повторяемость условий участка разработки позволяет вырабатывать максимально соответствующие друг другу схемы и алгоритмы, и они проще, чем рекомендуемые ранее. В ре-

зультате точность прогнозирования возрастает. Оборудование особенно коротких лав или камер системой идентификации одновременно позволяет решить задачу прогнозирования зоны нарушения в горном массиве, что актуально в сложных условиях добычи твердых минералов, поскольку относительно небольшая длина забоя требует и «просвечивания» массива на небольшое расстояние, рисунок 1.



1 Рисунок 1. Лаво-камера при разработке в сложных условиях:  
1- маневрирующая крепь с расчетно прогнозной системой;  
2- нарушения; 3- излучатели и приемники; 4 – выработка;  $L_n$ ,  $L_z$  – расстояние до нарушения и длина забоя

#### Список литературы

1. Marina Sidorová, Kakim Manapovich Beysembayev, Mahambet Nazhmetdinovich Shmanov, Kanat Kenzhegalievich Mendikenov and Aizat Murathankyzy Esen Plastic Flow Modeling in Rock Fracture Acta Montanistica Slovaca. Vol. 23 (2018), № 4, 357-367
2. Векслер Ю.А. Кинетика разрушения массива вокруг выработок //ФТПРПИ,1987, №4 - С. 29-33.
3. Хесин Г.Л., Бабенков Н.С., Иванов К.И. Распределение напряжений в буровом инструменте и породе // М: Изд-во ЦНИТЭИуголь, 1969. – 90 с.
4. Аскарьян Г А "Эффект самофокусировки" УФН 111 249–260 (1973)
5. Jones V.H. Brown W.F., Jr., Materials Research and Standards, 4 (3), 120 (1964)
6. Вознесенский А.С., Тавостин М.Н. Акустическая эмиссия угля в состоянии запредельного деформирования // ФТПРПИ, 2005, №4, с. 3-10.

УДК 622.879

## ФОРМИРОВАНИЕ РЫЧАЖНОГО ПЕРЕДАТОЧНОГО МЕХАНИЗМА В КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРАХ (МЕХЛОПАТАХ)

А. П. Комиссаров<sup>1</sup>, В. С. Шестаков<sup>1</sup>, О. А. Лукашук<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург

<sup>2</sup> ФГАОУ ВО «Уральский Федеральный университет имени первого Президента РФ Б.Н.Ельцина», г. Екатеринбург

*Рассмотрены особенности процесса экскавации горных пород рабочим оборудованием прямая лопата карьерного экскаватора в аспекте определения рациональных режимов работы главных механизмов (механизмов подъема и напора) карьерного экскаватора при ведении процесса экскавации. Показано, что при совместном действии главных механизмов в процессе экскавации образуется кинематическая цепь, соединяющая главные механизмы с ковшом и состоящая из ведомых звеньев главных механизмов и элементов рабочего оборудования. Установлено, что режимные параметры главных механизмов формируются в соответствии с кинематическими свойствами передаточного механизма, в состав которого входит кинематическая цепь. Получены зависимости для определения рациональных значений скоростей подъема и напора, обеспечивающих перемещение ковша (вершины режущей кромки) по заданной траектории в процессе экскавации. Результаты исследования могут быть использованы при разработке системы управления приводами главных механизмов.*

**Ключевые слова:** рабочее оборудование прямая лопата, процесс экскавации горных пород, главные механизмы, передаточный механизм, рациональные значения скоростей подъема и напора.

## FORMATION OF A LINKAGE GEAR IN MINING EXCAVATORS (MECHANICAL SHOVELS)

Komissarov A. P., Shestakov V. S., Lukashuk O. A.

*Peculiarities of the process of excavating rocks with working equipment are considered. The direct shovel of a quarry excavator in the aspect of determining the rational modes of operation of the main mechanisms (hoisting and pressure mechanisms) of a quarry excavator during the excavation process. It is shown that with the joint action of the main mechanisms in the process of screening, a kinematic chain is formed connecting the main mechanisms with the bucket and consisting of the driven links of the main mechanisms and elements of the working equipment. It is established that the operational parameters of the main mechanisms are formed in accordance with the kinematic properties of the transmission mechanism, which includes a kinematic chain. Dependencies were obtained to determine the rational values of the lifting and pressure velocities that ensure the bucket (top of the cutting edge) to move along a given path during excavation. The results of the study can be used to develop a drive control system for the main mechanisms*

**Keywords:** working equipment, direct shovel, rock excavation process, main mechanisms, transmission mechanism, rational values of lifting and pressure rates

**Введение.** Процесс экскавации горных пород, осуществляемый при координированной работе главных механизмов (подъема и напора) по перемещению ковша с одновременным отделением слоя породы и при непрерывном изменении условий работы, затруднено и ограничивается психофизическими возможностями машиниста экскаватора. Как показывает практика эксплуатации карьерных экскаваторов, длительность рабочего цикла в конкретных условиях значительно превышает расчетную.

В современных условиях рыночной экономики проблема повышения эффективности использования технологических возможностей карьерных экскаваторов приобретает особую актуальность.

Основным направлением решения этой проблемы является установление законов движения главных механизмов в процессе экскавации. Известные методы определения законов движения главных механизмов основаны на формальных подходах – нечеткая логика, искусственный интеллект и др. [1 – 5].

**Цель и задачи исследования.** Цель исследования – установление кинематических и динамических характеристик процесса экскавации за счет выявления закономерностей изменения режимных параметров (скоростей подъема и напора) главных механизмов, обеспечивающих перемещение ковша (вершины режущей кромки) по заданной траектории.

Задачи исследования состоят в следующем:

- обоснование математической модели передаточного механизма, образующегося в процессе экскавации;
- определение скоростей подъема и напора, обеспечивающих перемещение ковша (вершины режущей кромки) по заданной траектории.

Объектом исследования является механическая система, включающая главные механизмы (подъема и напора) и передаточный механизм.

Предмет исследования – установление функциональных зависимостей между параметрами, определяющими положение ковша (вершины режущей кромки) в забое, и режимными параметрами главных механизмов (скоростями подъема и напора).

Методы исследования – методы теории машин и механизмов, математическое моделирование и

вычислительный эксперимент.

Выполнен структурный анализ кинематической цепи, образующейся при совместном действии горных механизмов (подъема и напора).

Кинематическая цепь состоит из ведомых звеньев главных механизмов (кремальберной шестерни механизма напора, головного блока стрелы, фрагмента подъемного каната, сбегавшего с головного блока) и элементов рабочего оборудования (сед-

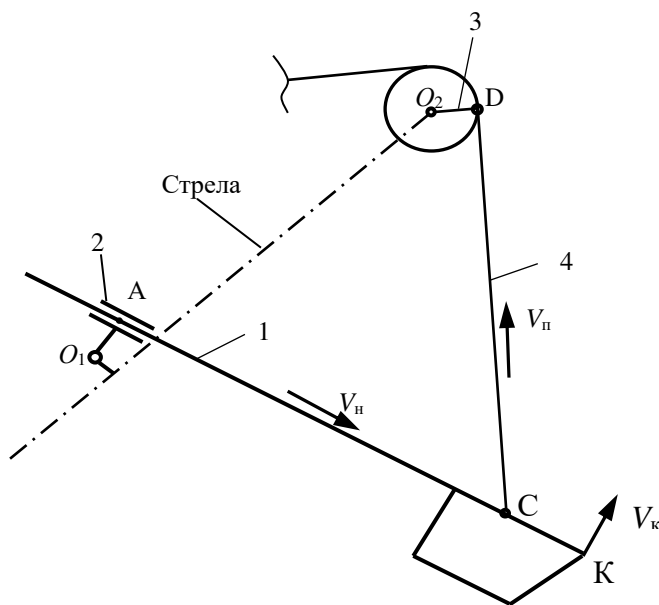


Рис. 1. Схема кинематической цепи, образующейся при совместном действии механизмов подъема и напора:

1 – звено «рукоять-ковш»; 2, 3 – кривошип; 4 – подъемный канат;  $V_k$ ,  $V_p$ ,  $V_n$  – скорости напора, подъема и копания

лового подшипника, рукояти, ковша, жестко закрепленного на рукояти, и подвески ковша) (см. рис. 1).

Приняты следующие допущения:

- головной блок стрелы фактически представляет собой ведомое звено механизма подъема, так как скорость точки схода подъемного каната с головного блока равна скорости подъема, и в кинематическом отношении является кривошипом;

- подъемный канат (фрагмент) представляет собой невесомую нерастяжимую нить в виде стержня переменной длины;

- подвеска ковша, шарнирно соединенная с ковшом, образует вместе с подъемным канатом единый стержень.

В результате структурного анализа установлено:

- кинематическая пара, образованная подъемным канатом и головным блоком, эквивалентна по отношению к скорости вращательной паре (шарниру), которая в данном случае является мгновенной;

- звено «рукоять-ковш» образует со стойкой (стрелой) двухподвижное соединение в виде поступательной пары (рукоять-седловой подшипник) и вращательной пары (седловой подшипник-стрела);

- кинематическая цепь включает четыре подвижных звена: два кривошипа (кремальберная шестерня и головной блок), стержень (подъемный канат и подвеска ковша) и звено «рукоять-ковш»;

- кинематическая цепь образует со стойкой (стрелой) двухкривошипно-рычажный механизм.

Таким образом, в процессе экскавации образуется передаточный рычажный механизм, преобразующий движения ведомых звеньев главных механизмов в движение (перемещение) ковша [6].

Число степеней свободы (подвижности) передаточного механизма составит

$$S = 3n - 2P_5 = 3 \cdot 4 - 2 \cdot 5 = 2,$$

где  $n = 4$  – число пар подвижных звеньев;  $P_5 = 5$  – число кинематических пар пятого класса (одноподвижных).

В механизме с двумя степенями свободы (двумя обобщенными координатами) могут быть или два начальных звена, если за обобщенные координаты приняты координаты двух звеньев, или одно начальное звено, если оно образует со стойкой двухподвижную пару [7].

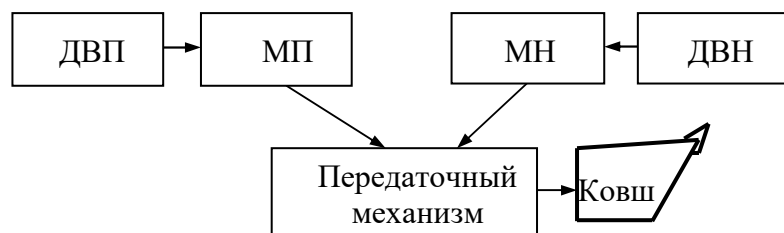


Рис. 2. Структурная схема электромеханической системы карьерного экскаватора:

ДВП, ДВН – двигатели механизмов подъема (МП) и напора (МН)

За начальное звено принимается звено «рукоять-ковш» и, соответственно, при этом положения всех звеньев как передаточного механизма, так и главных механиз-

мов определяются положением звена «рукоять-ковш».

Таким образом, в процессе экскавации образуется общий передаточный механизм главных приводов, включающий главные механизмы и передаточный механизм (см. рис.2).

За обобщенные координаты передаточного механизма принимаем координаты вершины режущей кромки ковша точки  $K$  ( $X_K$  и  $Y_K$ ) в системе координат  $XOY$ , где ось  $OX$  совпадает с уровнем стояния экскаватора, а ось  $OY$  – с осью вращения поворотной платформы.

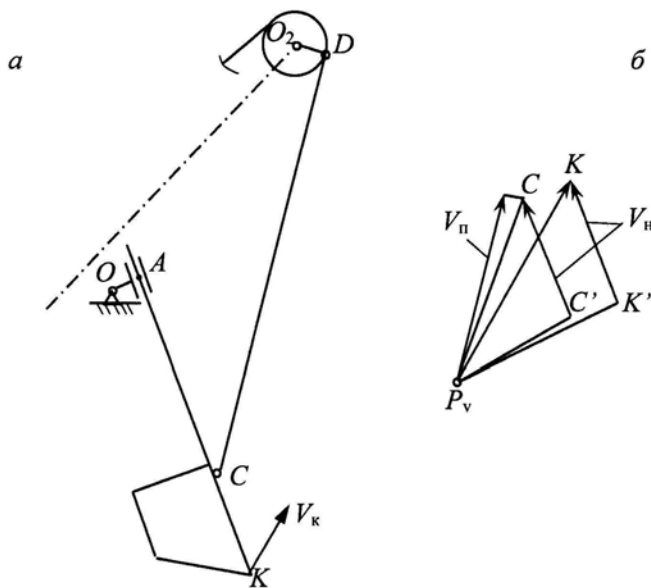


Рис. 3. Планы механизма (а) и скоростей (б) при расположении ковша в нижней части забоя

Выполнен кинематический анализ передаточного механизма на основе графо-аналитического метода путем построения планов механизма и скоростей.

Рычажные механизмы отличаются от других механизмов тем, что они обладают «индивидуальными» кинематическими свойствами, которые определяются структурной схемой механизма, видом кинематических связей между звеньями и геометрическими параметрами (длинами) звеньев.

Основной характеристикой рычажного механизма являются кинематическая и динамическая передаточные функции (передаточные отношения), определяющие зависимости между кинематическими и динамическими параметрами ведомого и ведущего звеньев.

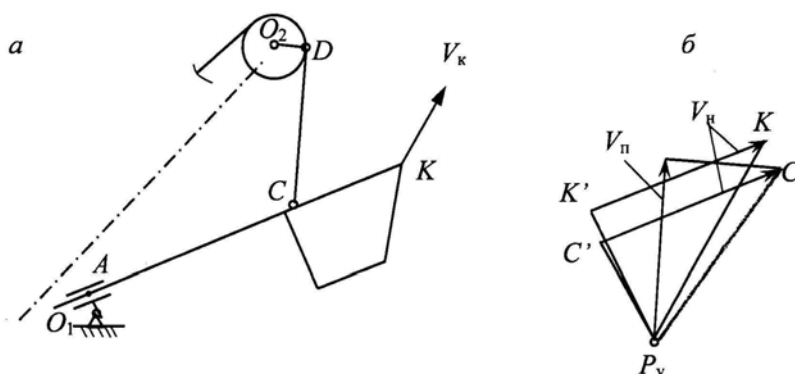


Рис. 4. Планы механизма (а) и скоростей (б) при расположении ковша в верхней части забоя

Для определения скоростей рабочих движений (подъема и напора) необходимо задать законы движения начального звена, т. е. траекторию перемещения ковша (вершины режущей кромки) и скорость копания, а также размеры звеньев передаточного механизма.

передаточного механизма.

Так как скорость напора меняет направление в зависимости от положения ковша в забое, то, соответственно, изменяется форма плана скоростей и вид зависимостей для определения скоростей рабочих движений (см. рис. 3, 4).

На основе математической модели передаточного механизма получены выражения для определения скоростей рабочих движений (подъема и напора), обеспечивающих перемещение ковша по заданной траектории.

Зависимости для определения кинематических передаточных функций (соотношений между скоростями подъема  $V_{\Pi}$  и напора  $V_{\text{н}}$ , и скоростью копания  $V_{\text{к}}$ ) составят в общем виде:

$$\text{КПФН} = \frac{V_{\text{н}}}{V_{\text{к}}} = f_1(X_{\text{к}}, Y_{\text{к}}, l_i, \psi, \alpha_i);$$

$$\text{КПФП} = \frac{V_{\Pi}}{V_{\text{к}}} = f_2(V_{\text{н}}, X_{\text{к}}, Y_{\text{к}}, l_i, \psi, \alpha_i),$$

где КПФН, КПФП – кинематические передаточные функции движений напора и подъема;  $l_i$  – длины звеньев;  $\psi$  – угол наклона касательной к траектории перемещения ковша в точке К;  $\alpha_i$  – углы, определяющие положения звеньев.

Таблица

**Значения режимных параметров главных механизмов при различных углах наклона траектории перемещения ковша**

№ №	Координаты вершины режущей кромки, м		Скорость подъема, м/с	Скорость напора, м/с	Сила тяжести груженого ковша, кН	Усилие подъема, кН	Усилие напора, кН	Мощность усилия подъема, кВт	Мощность усилия напора, кВт	КПД механизма
	$X_{\text{к}}$	$Y_{\text{к}}$	$V_{\Pi}$	$V_{\text{н}}$	$G_{\text{к+п}}$	$F_{\Pi}$	$F_{\text{н}}$	$P_{\Pi}$	$P_{\text{н}}$	$\eta$
Угол наклона траектории $\psi = 70^\circ$										
1	14	0	0,91	-0,74	400	732	-295	667	218	0,37
2	15,5	4	0,81	-0,52	500	799	-327	646	169	0,40
3	17	8	0,68	-0,12	600	959	-300	649	35	0,48
4	18,5	12	0,70	0,34	700	1179	-234	829	80	0,36
Угол наклона траектории $\psi = 60^\circ$										
5	14	0	0,87	-0,61	400	801	-195	696	119	0,40
6	16,3	4	0,76	-0,30	500	876	-183	662	56	0,45
7	18,6	8	0,66	0,13	600	978	-59	645	8	0,50
8	20,9	12	0,59	0,50	700	1093	296	640	148	0,41
Угол наклона траектории $\psi = 50^\circ$										
9	14	0	0,80	-0,46	400	853	-103	681	48	0,45
10	17,4	4	0,66	-0,06	500	940	-20	618	1	0,53
11	20,8	8	0,51	0,36	600	1062	271	537	98	0,51
12	24,2	12	0,17	0,64	700	1285	917	221	590	0,40

На рис. 5 и 6 представлены графики скоростей подъема и напора при



перемещении ковша в процессе отработки забоя высотой 17 м.

Разработан оптимизационный алгоритм управления рабочим процессом карьерного экскаватора, обеспечивающий реализацию необходимых значений режимных параметров главных механизмов при перемещении ковша с заданной скоростью копания в пределах рабочей зоны экскаватора.

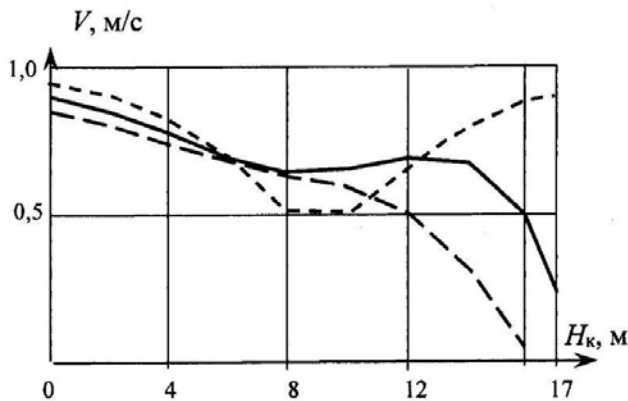


Рис. 5. Графики зависимости скорости подъема от высоты копания:  
 ---- - начальная, — - средняя, - - - - - конечная траектории

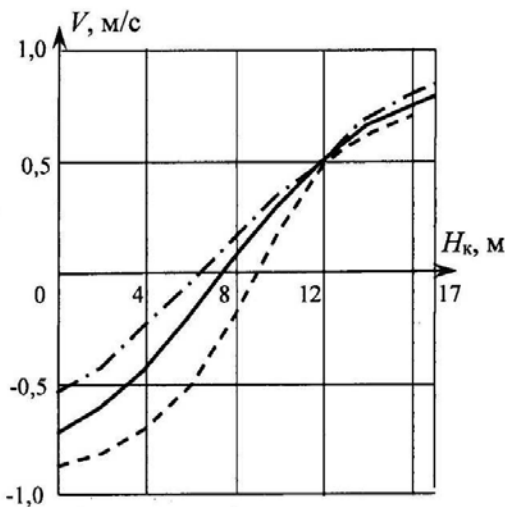


Рис. 6. График зависимости скорости напора от высоты копания:  
 ---- - начальная, — - средняя, - - - - - конечная траектории

Алгоритм определяет содержание и последовательность выполнения следующих операций, обеспечивающих перемещение ковша по заданной траектории:

- расчет на ЭВМ скоростей подъема и напора в начальном положении ковша, а также в последующих положениях, соответствующих перемещению ковша с заданным шагом;

- определение значений скоростей для трех положений (начального, среднего и конечного) и передача команд, пропорциональных значениям скоростей, на вход системы управления приводами главных механизмов;

- перемещение ковша в последующее положение.

Разработана имитационная модель процесса экскавации горных пород рабочим оборудованием прямой лопата карьерного экскаватора, представляющая собой набор

расчетных значений режимных параметров главных механизмов, при которых реализуется перемещение ковша по заданной траектории с заданными энергосиловыми параметрами, реализуемыми на ковше.

Имитационная модель процесса экскавации определяет алгоритм цифрового управления, который формирует управляющее воздействие на привода главных механизмов.

Таким образом, на основе имитационной модели процесса экскавации, полученной в результате вычислительного эксперимента, можно определить для любой точки в рабочей зоне экскаватора режимные параметры

главных механизмов при заданных энергосиловых параметрах, реализуемых на ковше, и при заданной траектории перемещения ковша (вершины режущей кромки).

### **Выводы**

Предложенная методика расчета режимных параметров (скоростей подъема и напора) главных механизмов карьерных экскаваторов посредством вычислительного эксперимента позволяет определить фактические значения скоростей рабочих движений в конкретных горнотехнических условиях работы (размеры забоя, вид траекторий перемещения ковша и др.).

Установление взаимосвязей между режимными параметрами главных механизмов в процессе экскавации может служить основой для разработки адаптивной системы цифрового управления приводами главных механизмов, обеспечивающей за счет согласования скоростей рабочих движений в конкретных условиях эксплуатации повышение эффективности функционирования экскаватора.

### **Список литературы**

1. *Бабаков С. Е., Певзнер Л. Д.* Алгоритмизация управления движением ковша экскаватора в режиме черпания с применением нечеткой логики // Горное оборудование и электромеханика. 2012. № 9. С. 8 – 17.
2. *Корюков А. А.* Геометрическая модель рабочего оборудования карьерного экскаватора для расчета нагрузок электропривода и контроля положения ковша // Известия вузов. Горный журнал. 2013. № 3. С. 106 – 113.
3. *Малафеев С. И.* Интеллектуализация карьерного экскаватора / С. И. Малафеев, Ю. В. Тихонов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 11. С. 107 – 115.
4. *Лагунова Ю. А., Комиссаров А.П., Шестаков В.С.* Машиностроение. Энциклопедия. Т. IV-24. Горные машины. М.: Машиностроение. Т. IV-24. - 2011.
5. *Певзнер Л. Д., Бабаков С. Е.* Алгоритм управления операцией черпания карьерного экскаватора-мехлопаты с применением нечеткой логики // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 1. С. 263 – 271.
6. *Комиссаров А.П., Лагунова Ю. А., Шестаков В.С.* Сравнительная оценка энергетических характеристик карьерных экскаваторов // Горное оборудование и электромеханика. 2014. № 2. С. 14-16.
7. *Левитский Н. И.* Теория механизмов и машин. М.: Наука, 1979. 576 с.
8. *Иванов И.Ю., Комиссаров А.П., Лагунова Ю. А., Шестаков В.С.* Интенсификация процессов экскавации горных пород// Известия высших учебных заведений. Горный журнал, 2015. № 3. С. 94-100.
9. *Подэрни Р. Ю.* Механическое оборудование карьеров. 6-е изд., перераб. и доп. М.: Изд. МГГУ, 2007. 680 с.: ил.
10. *Bender F. A., Sawodny O. A.* Predictive Driver Model for the Virtual Excavator // The 13th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV), 2014, pp. 187 – 192.
11. *Lee B., Kim H. J.* Trajectory Generation for an Automated Excavator // Proceedings of the 14 International Conference on Control, Automation and Systems (Iccas'14). Seoul, 2014. P. 716 – 719.

УДК 622.271

## РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭКСКАВАТОРА

Комиссаров А.П., проф., Шестаков В.С., проф., Набиуллин Р.Ш., доц.  
Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия;

*В работе рассмотрен метод определения конструктивных и режимных параметров рычажно – гидравлических механизмов гидравлических экскаваторов. Показано, что наличие кинематических связей между двигателем (гидроцилиндром) и звеньями рычажно – гидравлического механизма обуславливает изменение соотношений между режимными параметрами двигателя и энергосиловыми параметрами, реализуемыми на ведомых звеньях (ковше, рукояти и стреле), в зависимости от геометрических параметров (длин) звеньев. Разработана имитационная модель рабочего процесса, позволяющая определить режимные параметры рычажно – гидравлических механизмов.*

**Ключевые слова:** рычажно – гидравлический механизм, рабочее оборудование гидравлического экскаватора, кинематическая передаточная функция, динамическая передаточная функция, рабочая характеристика гидравлического экскаватора.

## DEVELOPMENT OF A DIGITAL MODEL OF THE WORKING PROCESS OF A HYDRAULIC EXCAVATOR

Komissarov A.P., Shestakov V.S., Nabiullin R.Sh.

*In this work, we consider a method for determining the rational values of the structural and operational parameters of the lever - hydraulic mechanisms of hydraulic excavators based on an analysis of the results of a computational experiment obtained at the output of a mathematical model of a workflow. It is shown that the presence of kinematic connections between the engine (hydraulic cylinder) and the links of the lever-hydraulic mechanism causes a change in the relationship between the operating parameters of the engine and the power parameters implemented on the driven members (bucket, handle and arrow), depending on the geometric parameters (lengths) of links and coordinates of points (axes) connections links. A simulation model of the working process is developed, which allows to determine the operational parameters of the lever - hydraulic mechanisms.*

**Keywords:** lever - hydraulic mechanism, working equipment of a hydraulic excavator, kinematic transfer function, dynamic transfer function, operating characteristic of a hydraulic excavator.

**Введение.** Рычажные механизмы отличаются от других механизмов тем, что они обладают «индивидуальными» кинематическими свойствами, которые определяются структурной схемой механизма, видом кинематических связей между звеньями и геометрическими параметрами (длинами) звеньев.

Режимные параметры гидроцилиндров, входящих в состав исполнительных рычажно – гидравлических механизмов гидравлического экскаватора (механизма поворота стрелы, механизма поворота рукояти и механизма поворота ковша) при функционировании преобразуются в параметры ведомых звеньев в соответствии со свойствами рычажных механизмов. Основной характеристикой рычажного механизма являются кинематическая и динамическая передаточные функции (передаточные отношения), определяющие зависимости между кинематическими и динамическими параметрами ведомого и ведущего звеньев.

Сложность обеспечения требуемых усилий копания и поддержания стабильности рабочих параметров рабочего оборудования гидравлических

экскаваторов в течение цикла копания, обуславливается вариацией значений передаточных отношений. Кроме того, в процессе экскавации горной массы на гидроцилиндры поворота стрелы и поворота рукояти, находящихся в «закрытом» (пассивном) состоянии, действует сила сопротивления копанию, что приводит к появлению значительных реактивных нагрузок (превышающих по величине усилия, развиваемые гидроцилиндрами в активном режиме).

**Цель исследования** – выявление резервов повышения надежности и эффективности функционирования рабочего оборудования гидравлических экскаваторов.

**Задачи исследования:**

- определение кинематических и динамических передаточных функций, определяющих рабочие параметры рабочего оборудования гидравлических экскаваторов;

- определение активных и реактивных нагрузок, действующих на двигатели (гидроцилиндры) рычажно-гидравлических механизмов;

- определение рабочей характеристики экскаватора из условий обеспечения требуемых усилий копания и исключения срабатывания предохранительных клапанов.

**Результаты.** Отмеченные особенности показывают, что методика определения параметров рабочего оборудования должна учитывать достаточно большое число влияющих факторов, что возможно реализовать с использованием математических моделей расчета кинематических и силовых параметров с реализацией их в алгоритмическом языке для ЭВМ[6]. Это позволяет на этапе проектирования проводить исследования влияния режимных параметров механизмов рабочего оборудования, на параметры ведомых звеньев формирующих выходные функции системы.

Методика должна выполнять несколько функций:

1) определять геометрические параметры рабочего оборудования и размеров гидроцилиндров по условию формирования рабочей зоны экскаватора при заданных усилиях копания;

2) определять возможные усилия копания в пределах рабочей зоны;

3) определять усилия на штоках гидроцилиндров и других элементах рабочего оборудования по геометрическим параметрам рабочего оборудования, положению ковша и заданному усилию копания;

4) определять напряжения в элементах рабочего оборудования при задаваемых геометрических размерах и значениях усилий в элементах.

Зависимости, входящие в методику расчета параметров, будут определяться конструктивной схемой экскаватора. На рис.1 показана схема экскаватора с рабочим оборудованием «обратная» лопата.

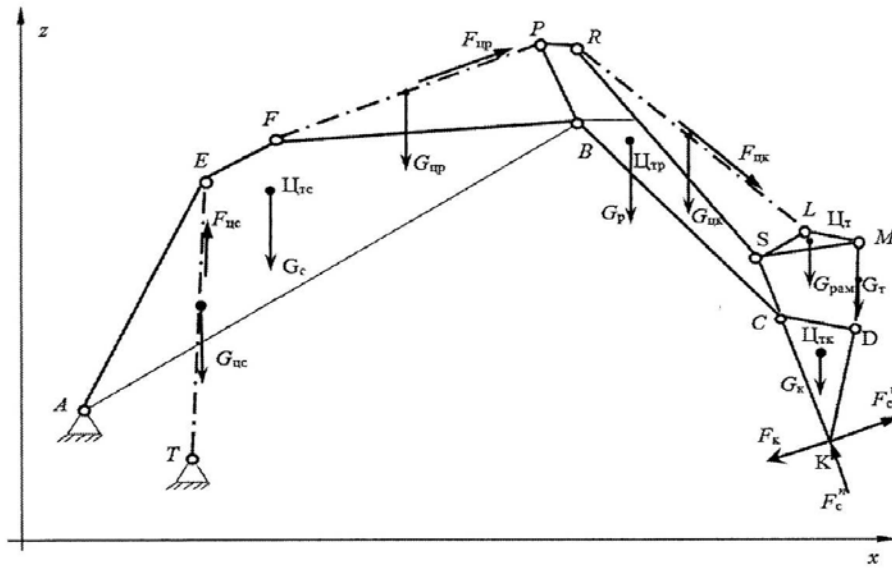


Рис.1 Схема рабочего оборудования:

$G_c, G_p, G_k, G_{цс}, G_{цр}, G_{цк}, G_{рам}, G_t$  – силы тяжести стрелы, рукояти, ковша, цилиндров стрелы, рукояти, ковша рамы и тяги;  $Ц_{цс}, Ц_{цр}, Ц_{цк}, Ц_t$  – центры тяжести стрелы, рукояти, ковша, рамы;  $F_{цс}, F_{цр}, F_{цк}$  – расчетные усилия на штоках цилиндров стрелы, рукояти, ковша.

Исходными данными для расчетов служат линейные размеры элементов рабочего оборудования между характерными точками (шарниры, центры масс), массы элементов, усилия на штоках гидроцилиндров, соответствующие настройке предохранительных клапанов. Эти значения вводятся в качестве исходных данных для программы расчета усилий во всех возможных точках рабочей зоны. По значениям усилий на элементах рабочего оборудования выполняется проектирование стрелы, рукояти, ковша и гидроцилиндров. По уточненным при проектировании массам элементов проводится повторный расчет усилий копания из условия исключения срабатывания предохранительных клапанов, а также расчет требуемых давлений для гидроцилиндров.

На начальном этапе выполнен кинематический и силовой анализ рычажно – гидравлических механизмов.

В общем случае выражение для кинематической передаточной функции рычажно – гидравлического механизма имеет вид [2]:

$$\Phi_v = \frac{V_{\text{ВЫХ.ЗВ.}}}{V_{\text{ШТ.}}} = f(l_i, \alpha_i, X_{\text{ВЫХ.ЗВ.}}, Y_{\text{ВЫХ.ЗВ.}}) \quad (1)$$

где  $V_{\text{ВЫХ.ЗВ.}}, V_{\text{ШТ.}}$  - скорость характерной точки выходного звена и скорость штока соответственно;  $l_i$  - длина звеньев;  $\alpha_i$  - угловые расстояния между звеньями;  $X_{\text{ВЫХ.ЗВ.}}$  и  $Y_{\text{ВЫХ.ЗВ.}}$  - координаты характерной точки выходного звена.

В гидравлических экскаваторах главным (копающим) механизмом является механизм поворота ковша, а усилия на режущей кромке ковша  $F_k$  определяются силовой передаточной функцией механизма поворота ковша, которая имеет следующий вид и представляет собой соотношение

между силовыми параметрами, реализуемыми на выходном и ведущем звеньях механизмов:

$$\Phi_{F_{цк}} = \frac{F_k}{F_{цк}}; \quad (2)$$

где  $F_{цк}$  – сила, действующая на штоке гидроцилиндра механизма поворота ковша;  $F_k$  – сила, действующая на режущей кромке (зубьях) ковша.

Для механизмов поворота стрелы и рукояти силовые передаточные функции имеют вид:

$$\Phi_{M_{цр}} = \frac{M_p}{F_{цр}}; \quad (3)$$

$$\Phi_{M_{цс}} = \frac{M_c}{F_{цс}}, \quad (4)$$

где  $F_{цр}$ ,  $F_{цс}$  – силы, действующие на штоках гидроцилиндров механизмов поворота рукояти и стрелы;  $M_p$ ,  $M_c$  – вращающие моменты сил  $F_{цр}$  и  $F_{цс}$  относительно осей  $B$  и  $A$ .

Нестабильность активных нагрузок в течение цикла экскавации приводит к изменению и реактивных нагрузок.

Максимальные реактивные нагрузки возникают при неблагоприятном сочетании следующих факторов:

- при максимальном (или близком к нему) значении плеча силы сопротивления породы копанию от осей  $A$  или  $B$ ;
- максимальном (или близком к нему) значении силовой передаточной функции механизма поворота ковша;
- при минимальном (или близком к нему) значении силовой передаточной функции механизма поворота стрелы или механизма поворота рукояти;
- при совпадении направлений (или малом отклонении) действия сил тяжести элементов рабочего оборудования и силы сопротивления породы копанию (касательной составляющей).

Для оценки величины реактивной нагрузки предложен коэффициент реактивной нагрузки:

$$K_{рс} = \frac{M_{вн.с}}{F_{цс} \Phi_{M_{цс.i}}}; \quad (5)$$

$$K_{рр} = \frac{M_{вн.р}}{F_{цр} \Phi_{M_{цр.j}}}, \quad (6)$$

где  $M_{вн.р}$ ,  $M_{вн.с}$  – момент внешних нагрузок относительно оси  $A$  и  $B$  соответственно;  $\Phi_{M_{цс.i}}$ ,  $\Phi_{M_{цр.j}}$  – текущие значения силовых передаточных функций механизма поворота стрелы и рукояти соответственно.

Рабочая характеристика гидравлического экскаватора определяет фактические области рабочей зоны, в которых реализуются усилия на режущей кромке ковша из условия несрабатывания предохранительного клапа-

на при действии реактивных усилий с учетом передаточных функций рабочих механизмов.

Алгоритм расчета границ рабочей зоны и усилий в точках внутри зоны включает три цикла и организован следующим образом:

- во внешнем первом цикле происходит изменение расстояния между точками  $TE$  (см. рис. 1) путем выдвижения штоков гидроцилиндров поворота стрелы от минимального (штоки гидроцилиндров стрелы полностью втянуты) до максимального значений (штоки гидроцилиндров стрелы полностью выдвинуты);

- во втором цикле для каждого значения расстояний  $TE$  изменяется значение отрезка  $FP$  от минимально возможного значения (штоки гидроцилиндров рукояти полностью втянуты) до максимально возможного значения (штоки гидроцилиндров рукояти полностью выдвинуты);

- в третьем цикле для каждого значения расстояний  $TE$  и  $FP$  изменяется значение отрезка  $RL$  от минимально возможного значения (штоки гидроцилиндров ковша полностью втянуты) до максимально возможного значения (штоки гидроцилиндров ковша полностью выдвинуты).

Значения отрезков  $TE$ ,  $FP$ ,  $RL$  в модели обозначены соответственно  $L_{цс}$ ,  $L_{цр}$ ,  $L_{цк}$  и используются для расчета координат рабочей зоны, характерных точек расчетной схемы, усилий на зубьях коша и в элементах рабочего оборудования.

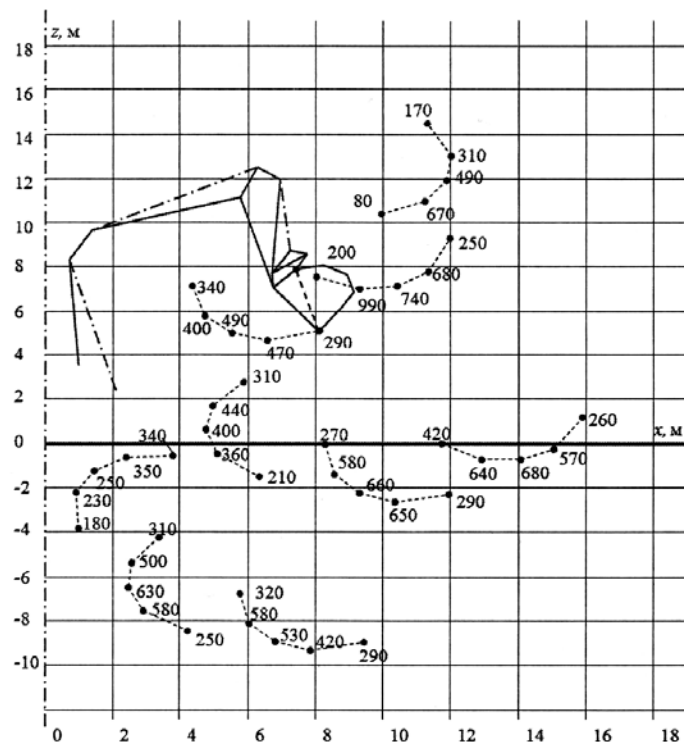


Рис.2 Возможные значения усилий копания кН, в пределах рабочей зоны.

Для расчета возможного усилия копания внутри рабочей зоны в алгоритм включен четвертый цикл поиска допустимого решения. Перед циклом задается касательная составляющая усилия сопротивления копанию

$P_{01}$ , заведомо большая возможного усилия копания рассматриваемого экскаватора. По  $P_{01}$  определяют усилия на штоках гидроцилиндров стрелы  $F_{цс}$ , рукояти  $F_{цр}$  и ковша  $F_{цк}$ . Усилия на штоках сравнивают с заданными значениями усилий гидроцилиндров стрелы, рукояти и ковша при срабатывании предохранительных клапанов. В случае превышения заданных значений любого из расчетных значений  $F_{цс}$ ,  $F_{цр}$  или  $F_{цк}$  уменьшается усилие  $P_{01}$ , и расчеты повторяют до тех пор, пока заданные усилия на штоках всех гидроцилиндров не будут больше расчетных усилий или равны им.

Математическая модель и алгоритм реализованы программой для ЭВМ на алгоритмическом языке *Visual Basic for Application*. В программе реализован вывод результатов в табличной форме и в виде рисунка, на котором в масштабе изображается схема экскаватора и рабочая зона с возможными усилиями копания (см. рис. 2).

**Выводы.** Разработанная модель функционирования рабочего оборудования позволяет определять нагрузки с учетом параметров конструктивных схем и вида динамических передаточных функций рычажно – гидравлических механизмов, что дает возможность выявления резервов повышения надежности и эффективности функционирования рабочего оборудования гидравлических экскаваторов.

### Список литературы

1. Комиссаров А.П., Лагунова Ю.А., Шестаков В.С. Проектирование карьерных экскаваторов. М.: Инновационное машиностроение, 2017. 232с.: ил. С. 30-32.
2. Комиссаров А. П., Шестаков В.С. Имитационная модель функционирования рабочего оборудования гидравлического экскаватора //Горное оборудование и электромеханика. - № 8. – 2013, С. 20-24.
3. Бабенков П.Ю., Шестаков В.С. Моделирование рабочего процесса гидравлического экскаватора // Горное оборудование и электромеханика. - № 1. – 2018, С. 10-14.
4. Комиссаров А. П., Лагунова Ю.А., Шестаков В.С., Телиман И.В. Соотношения активных и реактивных нагрузок в механизмах рабочего оборудования гидравлического экскаватора //Горное оборудование и электромеханика. - № 1. – 2018, С. 7-9.
5. Комиссаров А. П., Лагунова Ю.А., Лукашук О.А., Телиман И.В. Обоснование рабочей характеристики карьерного экскаватора //Горное оборудование и электромеханика. - № 2. – 2017, С. 7-10.



УДК 621.879.3

## О ТИПОВОЙ ЗАДАЧЕ В ХОДЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭКСКАВАТОРОВ С ГИДРАВЛИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ

Побегайло П.А., с.н.с., к.т.н.

ИМАШ им. А.А. Благонравова РАН, Москва, РФ

*В настоящей работе введено понятие типовой задачи при проектировании, исследовании и эксплуатации одноковшового гидравлического экскаватора. Под такой задачей мы понимаем задачу, которая может быть описана математически с потребной точностью один раз, а используется постоянно. Приведены примеры таких задач. Для одной из них дано возможное её решение, увязанное с нашими иными трудами. Дальнейшее развитие идеи типовых задач позволит построить библиотеку шаблонов.*

**Ключевые слова:** одноковшовые гидравлические экскаваторы; библиотека шаблонов; шарнирные углы; типовые задачи проектирования, исследования и эксплуатации

### ON A TYPICAL PROBLEM IN THE DESIGN OF HYDRAULIC EXCAVATORS

Pobegailo P.A.

*This paper introduces the concept of a typical problem in the design, research and operation of a hydraulic excavator. By such a problem, we mean a problem that can be described mathematically with the required accuracy once, but is used constantly. Examples of such tasks are given. For one of them, a possible solution is given, linked to our other works. Further development of the idea of typical tasks will allow you to build a library of templates.*

**Keywords:** hydraulic excavators; template library; hinge angles; typical design tasks. research and operation

**Введение.** Как известно [1-4], традиционное, наиболее часто встречающееся рабочее оборудование (РО) одноковшовых гидравлических экскаваторов (ОГЭ) состоит из трёх последовательно соединенных между собой вращательными шарнирами (пары V класса) звеньев (стрела, рукоять, ковш). При этом стрела прикреплена к поворотной платформе также через вращательный шарнир. Эти три звена могут поворачиваться относительно друг друга и экскаватора, причём все перемещения звеньев РО осуществляются в одной плоскости. Углы поворота стрелы относительно её пяты и рукояти относительно стрелы всегда меньше  $\pi$ . Угол поворота ковша относительно рукояти всегда меньше  $2\pi$  (эти три угла будем называть далее шарнирными углами, следуя в этом работам в области робототехники и теории машин и механизмов). Рассматриваемое РО имеет три степени свободы. Указанные ограничения на величины шарнирных углов накладываются схемой установки гидроцилиндров.

Таким образом, РО ОГЭ может быть рассмотрено как типичный плоский трехзвенный манипулятор.

**Основной текст.** При исследовании, проектировании и эксплуатации такого РО существует некоторое конечное множество типовых задач. Задач, которые могут быть описаны математически с потребной точностью один раз, а используются при этом постоянно.

В их число входит задача определения координат шарниров стрела - рукоять и рукоять - ковш, и острия зубьев ковша. Решение ее строится на

базе следующих очевидных соотношений (формулы выписаны в локальной системе координат, когда её центр расположен в шарнире крепления стрелы к поворотной платформе):

$$X_B = a \cdot \cos(b_1), \quad (1)$$

$$Y_B = a \cdot \sin(b_1), \quad (2)$$

$$X_C = a \cdot \cos(b_1) + b \cdot \cos(b_1 - b_2), \quad (3)$$

$$Y_C = a \cdot \sin(b_1) + b \cdot \sin(b_1 - b_2), \quad (4)$$

$$X_D = a \cdot \cos(b_1) + b \cdot \cos(b_1 - b_2) + c \cdot \cos(b_1 - b_2 - b_3), \quad (5)$$

$$Y_D = a \cdot \sin(b_1) + b \cdot \sin(b_1 - b_2) + c \cdot \sin(b_1 - b_2 - b_3), \quad (6)$$

где  $a$ ;  $b$ ;  $c$  - "кинематические" длины звеньев РО ОГЭ;  $b_1$ ,  $b_2$  и  $b_3$  - шарнирные углы. Точки В и С - вращательные шарниры, соединяющие элементы РО между собой, точка D - концевая точка зубьев ковша РО.

На основании соотношений 1 - 6 успешно решается еще одна типовая задача для РО ОГЭ - определение, для каждой точки рабочей зоны, области существования реализуемых положений ковша (манипулятивность). Для иллюстрации этого нами представлен рисунок 1.

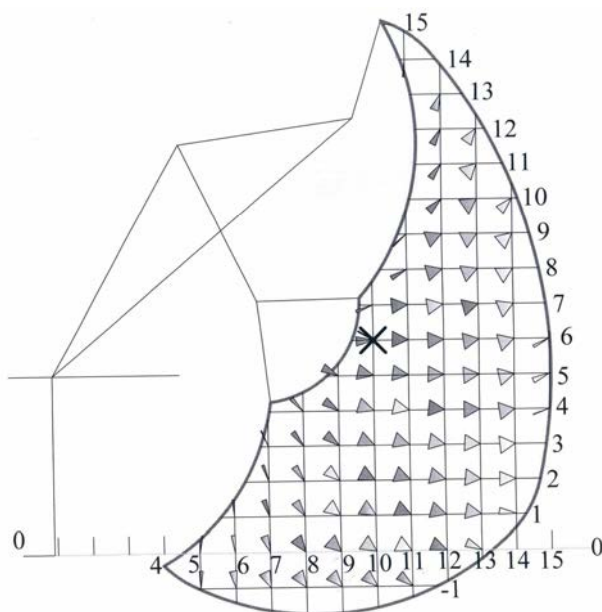


Рис. 1 Диапазоны допустимой установки ковша в точках рабочей зоны

В рамках рассмотрения задач динамики ОГЭ, в частности при создании системы управления машиной, существует еще одна типовая задача - задание первого положения ковша (с которого начинается движение его по той или иной интересующей нас траектории). Данная задача тесно связана с двумя задачами указанными выше.

Еще раз - иными словами - нашей задачей в настоящей работе является определение связи шарнирных углов и координат точки D (острия зубьев ковша). Несложно видеть, что для этого нам не хватает одного уравнения.

Опыт - как наш, так и других исследователей, показал, что в виде третьего уравнения может выступать в этой ситуации та или иная "фиксация" какого-либо геометрического параметра. Одним из вариантов этого является случай, когда угол  $b_3 = 0$ . Иными словами, имеем исходную систему уравнений в виде:

$$XX_D = a \cdot \cos(b_1) + b \cdot \cos(b_1 - b_2) + c \cdot \cos(b_1 - b_2 - b_3) + X_A, \quad (7)$$

$$YY_D = a \cdot \sin(b_1) + b \cdot \sin(b_1 - b_2) + c \cdot \sin(b_1 - b_2 - b_3) + Y_A, \quad (8)$$

$$b_3 = 0, \quad (9)$$

где точка А – шарнир крепления стрелы к поворотной платформе.

Введем два условных обозначения:  $X = XX_D - X_A$  и  $Y = YY_D - Y_A$ . После этого из уравнения 7 с учетом уравнения 9 получим выражение для определения угла  $b_2$  в виде:

$$b_2 = b_1 - \arccos \left[ \frac{X - a \cdot \cos(b_1)}{b + c} \right]. \quad (10)$$

Для определения угла  $b_1$  возведем уравнения 7 и 8 в квадрат и после этого сложим (с учетом уравнения 9). В конечном итоге будем иметь:

$$-2 \cdot X \cdot a \cdot \cos(b_1) - 2 \cdot Y \cdot a \cdot \sin(b_1) = (b + c)^2 - a^2 - X^2 - Y^2, \quad (11).$$

Примем в последнем уравнении, что  $-[(b + c)^2 - a^2 - X^2 - Y^2]/(2 \cdot a) = \Gamma$ . Тогда уравнение 11 примет вид:

$$Y \cdot \sin(b_1) + X \cdot \cos(b_1) = \Gamma. \quad (12)$$

В конечном счете, для определения угла  $b_1$  будем иметь следующие последовательно вычисляемые уравнения (с использованием формулы вспомогательного угла):

$$X = XX_D - X_A, \quad (13)$$

$$Y = YY_D - Y_A, \quad (14)$$

$$\Gamma = -[(b + c)^2 - a^2 - X^2 - Y^2]/(2 \cdot a), \quad (15)$$

$$\Gamma\Gamma = \sqrt{X^2 + Y^2}, \quad (16)$$

$$t = \arccos \left( \frac{Y}{\Gamma\Gamma} \right) = \arcsin \left( \frac{X}{\Gamma\Gamma} \right), \quad (17)$$

$$b_1 = \arcsin \left( \frac{\Gamma}{\Gamma\Gamma} \right) - t. \quad (18)$$

При использовании описанного подхода следует иметь в виду, что далеко не всегда условие, описываемое уравнением 9 выполнимо в реальных конструкциях, особенно точках близких к границе рабочей зоны.

Проверка верности равенства 9 легко осуществляется с помощью описанного нами ранее критерия - достижимости. Для иллюстрации этого критерия нами приведен рисунок 2.

На рисунке 2 показаны те точки рабочей зоны, которые формируют область реализуемых горизонтальных положений ковша, параллельных уровню стояния машины. Аналогично определяется область, в которой выполняется условие 9.

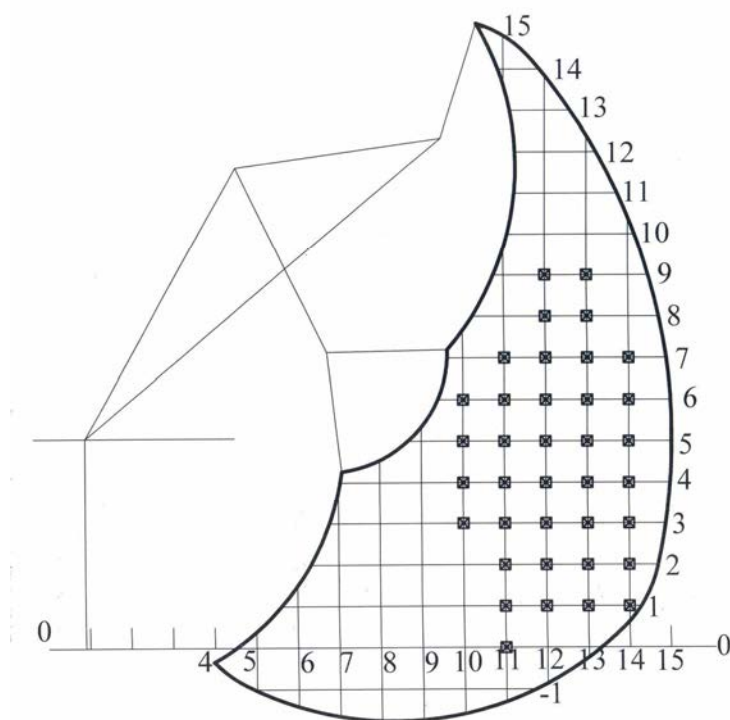


Рис. 2 Иллюстрация, поясняющая смысл понятия "достижимость" для ЭГ-12А

**Заключение.** Введено понятие типовой задачи – то есть задачи, которая регулярно встречается при проектировании, исследовании и эксплуатации ОГЭ, и при этом может быть описана математически.

### Список литературы

1. Комиссаров А.П., Лагунова Ю.А., Шестаков В.С. Проектирование карьерных экскаваторов. М.: Инновационное машиностроение, 2017. 232с.: ил. С. 30-32.
2. Комиссаров А. П., Шестаков В.С. Имитационная модель функционирования рабочего оборудования гидравлического экскаватора // Горное оборудование и электромеханика. - № 8. – 2013, С. 20-24.
3. Бабенков П.Ю., Шестаков В.С. Моделирование рабочего процесса гидравлического экскаватора // Горное оборудование и электромеханика. - № 1. – 2018, С. 10-14.
4. Комиссаров А. П., Лагунова Ю.А., Шестаков В.С., Телиман И.В. Соотношения активных и реактивных нагрузок в механизмах рабочего оборудования гидравлического экскаватора // Горное оборудование и электромеханика. - № 1. – 2018, С. 7-9.

УДК 621.879.3

## К ВОПРОСУ О СНИЖЕНИИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В ПРИВОДЕ ТЯГОВОЙ ЛЕБЕДКИ ШАГАЮЩЕГО ДРАГЛАЙНА

Побегайло П.А.<sup>1</sup>, с.н.с., к.т.н.; Крицкий Д.Ю.<sup>2</sup> инженер

<sup>1</sup> - ИМАШ им. А.А. Благонравова РАН, Москва, РФ;

<sup>2</sup> - АО "СУЭК-КРАСНОЯРСК", Красноярск, РФ

*Представлен фрагмент системы экспресс - диагностики шагающих экскаваторов. Она позволяет оценивать динамические нагрузки в тяговой лебедке драглайна в условиях эксплуатации. Предложенная физическая модель и её математическое наполнение может быть полезно и при проектировании новых шагающих экскаваторов (а также и при модернизации как старых машин, так и их подсистем).*

**Ключевые слова:** экскаваторы-драглайны; тяговая лебедка; динамические нагрузки; системы экспресс - диагностики

## ON THE ISSUE OF REDUCING DYNAMIC LOADS IN THE DRIVE OF THE TRACTION WINCH OF A WALKING DRAGLINE

Pobegailo P.A., Kritckij D.Y.

*Present a fragment of the rapid diagnostics system for quarry excavators. It allows you to evaluate the dynamic loads in the dragline excavator's traction winch under operating conditions. The proposed physical model and its mathematical content can also be useful when designing new excavators (as well as when upgrading both old machines and their subsystems).*

**Keywords:** excavators draglines; traction winch; dynamic load; system of Express - diagnostics

**Введение.** В рамках работы по созданию системы экспресс - диагностики карьерных экскаваторов представляет значительный интерес получение методов и способов анализа динамических нагрузок в условиях эксплуатации. При этом эти модели должны быть максимально просты и доступны. Для примера такого рода разработок нами рассмотрена тяговая лебедка экскаватора драглайна.

**Основной текст.** Как известно [1-3], наряду с внешними нагрузками сопротивления перемещению ковша драглайна в режиме копания в приводе тяговой лебедки возникают динамические нагрузки, обусловленные непостоянством указанных выше внешних сопротивлений, внешней характеристикой привода (двигателя) и жесткостью связей, соединяющих подвижные звенья.

Предполагая жесткость связей привода весьма большой по сравнению с жесткостью тяговых канатов, объединим все звенья привода, включая барабан, в одну эквивалентную массу с моментом инерции, приведенным к валу барабана  $J$ .

Движение эквивалентного звена описывается дифференциальным уравнением:

$$J\ddot{\varphi} = M - R \cdot P, \quad (1)$$

где  $\ddot{\varphi}$  - вторая производная по времени углового перемещения барабана;  $M$  - момент двигателя, приведенный к барабану;  $R$  - диаметр барабана по слою навивки каната;  $P$  - суммарное усилие в тяговых канатах.

Здесь и далее все параметры канатов принимаются суммарными для двух ветвей.

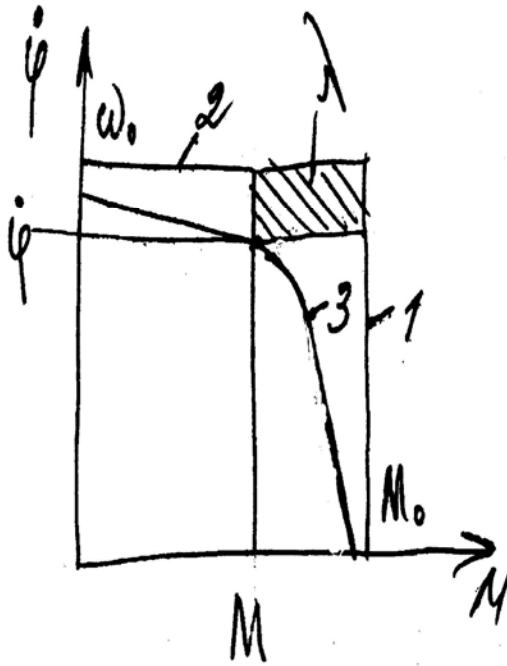


Рис. 1 Расчётная схема № 1

Момент  $M$  может быть выражен через частоту вращения барабана  $\dot{\varphi}$  с помощью механической характеристики двигателя в параметрах, приведенных к валу барабана.

Для электродвигателей переменного тока можно использовать гиперболическую часть механической характеристики (рис. 1) с параметрами  $M_0$ ,  $\omega_0$  и  $\lambda$ .

На рисунке 1 параметры  $M_0$  и  $\omega_0$  определяют асимптоты 1 и 2 механической характеристики 3 гиперболического типа. Третий параметр  $\lambda$  численно равен площади заштрихованного прямоугольника; предполагается что  $\lambda = const$ .

Тогда:

$$M = M_0 - \frac{\lambda}{\omega_0 - \dot{\varphi}} \quad (2)$$

Усилие  $P$ , входящее в дифференциальное уравнение (1), определяется внешними сопротивлениями и в общем случае может быть представлено в функции перемещения ковша  $X$ .

Для решения же дифференциального уравнения (1) это усилие следует представить в функции углового перемещения барабана  $\varphi$ . Поэтому, принимая за исходную зависимость  $P = P(X)$ , которая дает возможность сравнивать конструктивные параметры тяговой лебедки, преобразуем эту зависимость к виду  $P = P(\varphi)$ . Для этого найдем, в первую очередь, зависимость  $\varphi = \varphi(X)$ . Расчетная схема для этого приведена на рисунке 2.

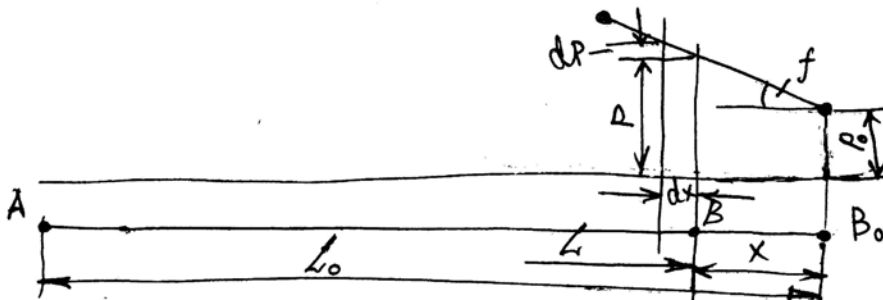


Рис. 2 Расчётная схема № 2

Решим задачу для случая линейного изменения усилия  $P$  в функции перемещения ковша  $X$  при начальном - минимальном значении  $P_0$  с последующим нарастанием по закону (рис. 2):

$$P = P_0 + f \cdot X. \quad (3)$$

Когда усилие в канате достигнет значения  $P_0$  (начало копания), его длина, измеренная от точки касания канатом барабана  $A$  до точки крепления ковша  $B_0$  будет равной:

$$L_0 = l_0 \cdot \left(1 + \frac{P_0}{E \cdot F}\right), \quad (4)$$

где  $l_0$  - длина того же участка каната в свободном (ненагруженном) состоянии;  $E$  - модуль упругости каната;  $F$  - площадь поперечного сечения каната (суммарная для двух ветвей).

Текущая длина растянутого каната при фиксированном  $X$ :

$$L = L_0 - X = l \cdot \left(1 + \frac{P}{E \cdot F}\right), \quad (5)$$

где  $l$  - длина того же каната в ненагруженном состоянии.

Дадим перемещению  $X$  приращение  $dX$ . Тогда усилие  $P$  получит приращение:

$$dP = f \cdot dX. \quad (6)$$

Прежняя длина каната  $L$  станет равной:

$$L + dL = l \cdot \left(1 + \frac{P + dP}{E \cdot F}\right). \quad (7)$$

Приращение  $dL$  есть часть каната, которая должна быть навита на барабан за время перемещения ковша на расстояние  $dX$ . Это приращение связано с угловым перемещением барабана зависимостью:

$$dL = R \cdot d\varphi. \quad (8)$$

Используя соотношения (3 - 7) преобразуем последнюю зависимость к виду:

$$d\varphi = \frac{1}{R} \cdot \left( \frac{L_0 \cdot f + P_0 + E \cdot F}{f \cdot X + P_0 + E \cdot F} - 1 \right) dX. \quad (9)$$

Интегрируя это выражение в пределах перемещения  $\varphi$  и  $X$  от нуля до  $\varphi$  и  $X$  соответственно:

$$\varphi = \frac{1}{R} \cdot \left[ \left( L_0 + \frac{P_0 + E \cdot F}{f} \right) \cdot \ln \left( 1 + \frac{f \cdot X}{P_0 + E \cdot F} \right) - X \right]. \quad (10)$$

Поскольку второе слагаемое подлогарифмического выражения мало по сравнению с единицей, то его можно "упростить":

$$\ln \left( 1 + \frac{f \cdot X}{P_0 + E \cdot F} \right) \approx \frac{f \cdot X}{P_0 + E \cdot F}. \quad (11)$$

После чего сразу же получаем:

$$\varphi = \frac{X}{R} \cdot \left( 1 + \frac{f \cdot L_0}{P_0 + E \cdot F} \right) \quad (12)$$

или

$$X = \frac{R \cdot \varphi}{1 + \frac{f \cdot L_0}{P_0 + E \cdot F}}. \quad (13)$$

После подстановки этого выражения в формулу (3) получим:

$$P = P_0 + \frac{R \cdot \varphi}{\frac{1}{f} + \frac{L_0}{P_0 + E \cdot F}}. \quad (14)$$

С учётом зависимостей (2) и (14) представим дифференциальное уравнение (1) в виде:

$$J\ddot{\varphi} = M_0 - \frac{\lambda}{\omega - \dot{\varphi}} - R \cdot \left( P_0 + \frac{R \cdot \varphi}{\frac{1}{f} + \frac{L_0}{P_0 + E \cdot F}} \right). \quad (15)$$

Полученное уравнение нелинейно и в общем виде не решается. Для его решения следует опираться на численные методы. Однако в некоторых случаях приведенный момент двигателя можно представить линейной функцией:

$$M = p \cdot (\omega_0 - \dot{\varphi}), \quad (16)$$

соответствующей линейной механической характеристике двигателя.

Тогда дифференциальное уравнение движения (1) преобразуется к традиционному виду:

$$J\ddot{\varphi} = p \cdot (\omega_0 - \dot{\varphi}) - R \cdot \left( P_0 + \frac{R \cdot \varphi}{\frac{1}{f} + \frac{L_0}{P_0 + E \cdot F}} \right). \quad (17)$$

Перепишем это уравнение в виде:

$$\ddot{\varphi} + A \cdot \dot{\varphi} + B \cdot \varphi = C, \quad (18)$$

где введены условные обозначения:

$$A = \frac{p}{J}; \quad B = \frac{R^2}{J \cdot \left( \frac{1}{f} + \frac{L_0}{P_0 + E \cdot F} \right)}; \quad C = \frac{p \cdot \omega_0 - R \cdot P_0}{J}. \quad (19)$$

Характеристическое уравнение в этом случае имеет вид:

$$k^2 + A \cdot k + B = 0. \quad (20)$$

Его корни таковы:

$$k_{1,2} = -\frac{A}{2} \pm \sqrt{\frac{A^2}{4} - B}. \quad (21)$$

**Заключение.** Представлен один из возможных элементов системы экспресс - диагностики экскаваторов-драглайнов, который позволяет оце-



нить динамические нагрузки в тяговой лебедке в условиях эксплуатации и найти варианты снижения этих нагрузок.

Математическая модель может быть использована и при проектировании новых экскаваторов.

### **Список литературы**

1. Лагунова Ю. А., Комиссаров А.П., Шестаков В.С. Машиностроение. Энциклопедия. Т. IV-24. Горные машины. М.: Машиностроение. Т. IV-24. - 2011.
2. Шестаков В.С., Головнева Т.П. Расчет нагрузок на стрелу драглайна при транспортировании ковша// Горное оборудование и электромеханика. – № 4. - 2009. С 50-55
3. Шестаков В.С., Хорошавин С.А., Вяткин А.В. Проектирование опорной базы и опорно-поворотного устройства шагающих драглайнов // Горное оборудование и электромеханика. - № 1. – 2013, С. 2-6

УДК 519.24

## ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО ЧИСЛА ОПОР ДЛЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ МЕТОДОМ ПЛАНИРУЕМОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Статников И.Н., Фирсов Г.И.

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, г. Москва

*Для определения минимального числа опор для горизонтальных ленточных конвейеров рассматривается применение метода планируемого вычислительного эксперимента, который позволяет на основе проведения имитационных модельных экспериментов осуществить просмотр пространства параметров в заданных диапазонах их изменения.*

*Ключевые слова:* эвристические методы оптимизации, метод Монте-Карло, планирование имитационных экспериментов, горизонтальный ленточный конвейер.

## SELECTION OF THE RATIONAL NUMBER OF SUPPORTS FOR HORIZONTAL TAPE CONVEYORS BY THE METHOD OF THE PLANNED COMPUTING EXPERIMENT

Statnikov I.N., Firsov G.I.

*We consider the application for determining the minimum number of supports for horizontal belt conveyors of the planned computational experiment method, which allows, based on simulation model experiments, to view the parameter space in the given ranges of their change.*

*Keywords:* heuristic optimization methods, Monte-Carlo methods, planning of simulation experiment, horizontal tape conveyor.

В настоящее время наиболее привлекательными становятся такие методы исследования и решения задач оптимизации, которые требуют минимума априорной информации о решаемой задаче, более того, позволяют по ходу решения получать такую информацию легко и просто. К таким относится метод планируемого ЛП-поиска (ПЛП-поиска) [1-3] благодаря синтезу в нем идеи дискретного квазиравномерного по вероятности зондирования  $J$  – мерного пространства варьируемых параметров  $\alpha_j$  ( $j=1, \dots, J$ ) и методологии планируемого математического эксперимента.

Рассматриваемая в статье задача связана оптимизацией тросовых лент горизонтальных ленточных конвейеров (ГЛК), описанных в [4-6], а именно с выбором минимального числа роликоопор для конвейеров заданной длины  $L$ . Проблема заключается в том, что на выбор этого оказывает влияние большое множество параметров и тогда для проектировщика представляет интерес поиск не только конкретного минимального числа опор, но и областей параметров, позволяющих находить такие числа с учётом требований (критериев), больших одного. Как в [4,5], при анализе математической модели работы тросовых лент принимаем допущение, что лента изгибается по цилиндрической поверхности симметрично относительно линий  $y = 0$  и  $x = l_{рв} / 2$ , где  $l_{рв}$  – расстояние между двумя роликоопорами рабочей (верхней) ветви ГЛК, мм; тогда суммарный прогиб в

пролёте между двумя роlikоопорами  $w(x,y)$  равен  $w = \sum_n f_n \sin(n\pi x / l_{рв})$ ,

где:  $n$  номер гармонической составляющей прогиба ( $n = 1,3,5,\dots$ );  $l_{рн}$  – расстояние между двумя роlikоопорами на холостой (нижней) ветви ГЛК, мм; рекомендуется [4-6] на нижней ветви брать  $l_{рн} \approx 2 l_{рв}$ ;  $x$  – текущее расстояние между опорами, мм; амплитуда  $n$  – ой гармоники  $f_n = 4l_{рв}^2 (q_{гр.} + q_{л}) / \pi^3 [D(n\pi / l_{рв})^2 + F / B + v^2 (q_{гр.} + q_{л}) / g]$ ;  $n = 1,3,5,\dots$ ;  $v$  – скорость движения ленты, м/с;  $B$  – ширина выбранной ленты, мм;  $F$  – минимальное натяжение на рабочем участке конвейера, Н;  $q_{гр.}$  и  $q_{л}$  – соответственно поверхностные нагрузки от веса груза и ленты (Н/мм<sup>2</sup>);  $D = E\delta^3 / 12(1 - \nu^2)$  – цилиндрическая жёсткость ленты (Н\*мм);  $E$  – модуль упругости ленты (Н/мм<sup>2</sup>);  $\nu$  – коэффициент Пуассона (безразмерная величина);  $g$  – ускорение свободного падения (9.81 м/с<sup>2</sup>);  $\delta$  – толщина ленты, мм. Для решения поставленной задачи используем рекомендованное в [4,5] неравенство следующего вида:

$$f(x, y) / l_{рв} \leq (0.02 \div 0.03), \quad (1)$$

где  $f(x, y) = \sum_{n=1,3,5,\dots} f_n$  – суммарный прогиб от всех нагрузок на рабочей

ветви ГЛК, мм. Очевидно, что выполнение неравенства (1) напрямую связано со значениями геометрических параметров конвейерной части ГЛК, которые, в свою очередь, определяются требованиями, предъявляемыми заказчиками (производительность, масса перемещаемого груза, масса самого конвейера, габариты, стоимость и т.д.). Тогда для максимального удовлетворения предъявляемых требований, при условии выполнения неравенства (1), сформулируем несколько критериев, значения которых зависят от значений параметров:  $\alpha_1 = v$  – скорость движения ленты, м/с;  $\alpha_2 = B$  – ширина ленты, мм;  $\alpha_3 = m_{гр}$  – масса штучного груза, кг;  $\alpha_4 = b_p$  – величина отступа от центра барабанов на рабочей ветви ленты, м;  $\alpha_5 = b_x$  – величина отступа от центра барабанов на холостой ветви ленты, м;  $\alpha_6 = l_{рв}$  – расстояние между опорами на рабочей ветви ГЛК, мм;  $\alpha_7 = l_{рн}$  – расстояние между опорами на холостой ветви ГЛК, мм;  $\alpha_8 = m$  – поверхностная нагрузка от веса ленты, Н/мм<sup>2</sup>;  $\alpha_9 = \delta$  – толщина ленты, мм;  $\alpha_{10} = \beta$  – прочность на 1 мм ширины ленты, Н/мм.

Предварительно введём обозначения для варьируемых параметров:

$$\alpha_1 = v, \text{ м / с}; \alpha_2 = B, \text{ мм}; \alpha_3 = m_{гр}, \text{ кг}; \alpha_4 = b_p, \text{ мм};$$

$$\alpha_5 = b_x, \text{ мм}; \alpha_6 = l_{рв}, \text{ мм}; \alpha_7 = l_{рн}, \text{ мм},$$

$$\alpha_8 = m, \text{ кг / м}^2; \alpha_9 = \delta, \text{ мм}; \alpha_{10} = \beta = (170 \dots 710), \text{ Н / мм}$$

В качестве критерия выбора вектора варьируемых параметров  $\bar{a}$  назначим такой:  $\Phi_1(\bar{a}) = \min(N_p + N_x)$  при соблюдении (1). Введём в неравенстве (1) обозначения левой и правой границ  $a_+ = 0.02$  и  $a_{++} = 0.03$  и новую

величину  $a = 0,5(a_+ + a_-)$ . Тогда, можно проанализировать вероятностное влияние варьируемых параметров на минимум такой величины (критерий)  $\Phi_2(\bar{\alpha}) = \min(|(f / l_{pв}) - a|)$ ; в «идеале», если минимизируемая разность окажется равной нулю, то  $f / l_{pв} = a$ , т.е. гарантировано выполнение неравенства (1) с требуемой  $P_{зад.}$ . При этом,  $N_p$  и  $N_x$  количества опор на рабочей (р) и холостой (х) ветвях ГЛК, рассчитываемые по формулам  $N_p = [(L - 2b_p) / l_{pв}]$  и  $N_x = [(L - 2b_x) / l_{рн}]$ , где  $b_p$  – расстояния роликоопор на рабочей ветви от центров барабанов, мм;  $b_x$  – расстояния роликоопор на холостой ветви от центров барабанов, мм. Для применения ППП-поиска была выбрана следующая область поиска  $G_0(\bar{\alpha})$ :

$$\alpha_1 = (0,5;3,5), \text{ м / с}; \alpha_2 = (350;1250), \text{ мм}; \alpha_3 = (50;150), \text{ кг};$$

$$\alpha_4 \in 0,5D_{пр.б} = (1,2;1,5), \text{ мм}; \alpha_5 \in 0,5D_{н.б} = (1,25;1,55), \text{ мм};$$

$$\alpha_6 = (1,4;1,6), \text{ мм}; \alpha_7 = (2,8;3,1), \text{ мм}, \alpha_8 = (25;70), \text{ кг / м}^2, \alpha_9 \in (15;27)$$

а максимальный прогиб  $Y = \max(f)$  для рабочей ветви рассчитывался по формуле [8]

$$Y = \sum_{k=1,3,5,\dots} \left\{ \frac{4l_{pв}^2 (q_{гр.} + q_{л.})}{(k\pi)^3} \right\} \left/ \left[ D \left( \frac{k\pi}{l_{pв}} \right)^2 + \frac{F}{B} + v^2 \frac{q_{гр.} + q_{л.}}{g} \right] \right\} \sin \left( \frac{k\pi}{2} \right).$$

Эксперименты с использованием ППП-поиска проводились при одинаковом числе вычислительных экспериментов  $N_0 = 320$  и числе варьируемых параметров  $J=9$ . При этом число тождественных строк в матрице планируемых экспериментов  $N_3 = 4$ , что вполне допустимо [1]. Были выбраны достаточно жёсткое (для практических целей) значение  $Y = 0.0007$  и длина конвейера  $L = 20000$  мм. Полученные значения критерия Фишера показывают, что с ростом значений  $F_0$  число вариантов удовлетворяющих одновременно неравенству (1), растёт. Показано, что в исходной области поиска  $G_0(\bar{\alpha})$  увеличение натяжения  $F_0$  не меняет соотношения между минимальным  $\Phi_1^+$  и максимальным  $\Phi_1^{++}$  количеством опор; при этом критерий  $\Phi_2^+$  принимает наилучшие значения с ростом  $F_0$ , что максимизирует вероятность нахождения большего числа вариантов, удовлетворяющих неравенству (1). Также получен вывод о влиятельности параметра  $\alpha_3$  (масса перемещаемого груза) на все критерии. На основании полученных результатов в при  $N_0 = 320$ ;  $M = [10...10]$  и  $F_0 = 3500$  Н была выделена область  $G_{01}(\bar{\alpha})$  поиска компромиссных решений по двум рассматриваемым критериям, где  $M$  количество сечений (уровней), на которые разбивается каждый варьируемый параметр:  $\alpha_1 \in (0,5;3,5)$ , м/с;  $\alpha_2 \in (350...900)$ , мм;  $\alpha_3 \in (50;100)$ , кг;  $\alpha_4 \in 0,5D_{пр.б} (1,2...1,5)$ , м;  $\alpha_5 \in 0,5D_{н.б} (1,25...1,55)$ , м;

$\alpha_6 \in (1.46...1.60)$ , м;  $\alpha_7 \in (2.8...2.95)$ , м;  $\alpha_8 \in (25...45)$ , кг/м<sup>2</sup>;  $\alpha_9 \in (20...27)$ , мм. Применив в этой области ПЛП-поиск при тех же условиях, что и в области  $G_0(\bar{\alpha})$ , и учитывая только результаты при  $P_{зад} \geq 0,95$ , получили, что в области  $G_{01}(\bar{\alpha})$  усилилось влияние большего числа варьируемых параметров по сравнению с  $G_0(\bar{\alpha})$ . Определены 232 варианта, у которых значения  $\Phi_1^+$  и  $\Phi_1^{++}$  лучше, чем в области  $G_0(\bar{\alpha})$ , при этом значения  $\Phi_1^+$  меняются от 5 до 38, а значения  $\Phi_1^{++}$  от 5 до 41.

Подводя итоги проведенных экспериментов с помощью ПЛП-поиска, утверждаем, что с его помощью на основе использования математической модели ГЛК можно реально с заданной вероятностью  $P_{зад}$  выбрать минимальное число опор конвейера.

### Список литературы

1. Статников И.Н., Фирсов Г.И. Проблемы интеллектуальной обработки информации при решении задач проектирования и идентификации динамических систем // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве. AS'2011. - Новокузнецк: Изд. Центр СибГИУ, 2011. - С.45-51.
2. Statnikov I.N., Firsov G.I. Using sobol sequences for planning experiments // Journal of Physics: Conference Series. 937. 2017. 012050.. P. 1-3.
3. Статников И.Н., Фирсов Г.И. Интерактивное структурирование пространства параметров при проектировании динамических систем // Вестник Тамбовского гос. техн. Ун-та. - 2015. - № 1. - С.36-41.
4. Черненко В.Д. Расчёт средств непрерывного транспорта. - СПб.: Политехника, 2008. - 386 с.
5. Обуховский А.Ф. Расчёт желобчатых конвейерных лент // Проблемы машиностроения и надёжности машин. - 2011. - № 1. - С. 52-54.
6. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины. - М.: Машиностроение, 1983. - 487 с.
7. Александров М.П. Подъёмно-транспортные машины. - М.: Высш. школа, 1979. - 558 с.
8. Андреенков Е.В., Егоров В.В., Логинов В.В. Транспортирующие машины лёгкой промышленности. - М.: КолосС, 2005. - 174 с.

УДК 622.277:621.927

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ КОПАНИЯ В ПРЕДЕЛАХ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭКСКАВАТОРА

<sup>1</sup>Шестаков В.С., проф., канд. техн. наук, <sup>2</sup>Безкоровайный П.Г., ст. преп.,

<sup>1</sup>Франц Т.П., доцент, канд. техн. наук,

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ,

<sup>2</sup>Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда,  
Республика Казахстан

*Актуальность работы обусловлена потребностью конструкторских отделов, занимающихся проектированием гидравлических экскаваторов в методиках, позволяющих снизить массы экскаваторов при обеспечении в то же время требуемых технологических возможностей. Результаты. Для гидравлического экскаватора с рабочим оборудованием «прямая лопата» разработана математическая модель расчета усилий при копании, алгоритм и программа на алгоритмическом языке, позволяющие определять возможные усилия в элементах рабочего оборудования.*

**Ключевые слова:** гидравлический экскаватор, рабочее оборудование, стрела, рукоять, ковш, гидроцилиндр, усилие, рабочая зона, модель.

## DETERMINATION OF DIGGING FORCES WITHIN THE WORKING AREA OF A HYDRAULIC EXCAVATOR

**Shestakov V.S., Bezkorovayny P.G., Frants T.P.**

*The relevance of the work is due to the need of the design departments involved in the design of hydraulic excavators in techniques to reduce the mass of excavators while providing the required technological capabilities. Results. For a hydraulic excavator with working equipment "direct shovel", a mathematical model for calculating the efforts when digging, an algorithm and a program in algorithmic language have been developed to determine possible forces in the elements of the working equipment.*

**Keywords:** hydraulic excavator, working equipment, boom, stick, bucket, hydraulic cylinder, effort, working area, model.

При проектировании гидравлических экскаваторов задаются такие технологические параметры, как обеспечение копания в заданной рабочей области. Обычно рабочая область определяется по геометрическим размерам рабочего оборудования (стрела, рукоять, ковш), но при этом в некоторых точках рабочей зоны не будут обеспечиваться требуемые усилия копания [1, 2].

Для расчета возможных усилий копания во всех возможных точках нами разработана математическая модель. Исходными данными для нее служат геометрические и силовые параметры рабочего оборудования и экскаватора в целом. Схема к составлению выражения приведена на рис. 1.

Модель включает выражения расчета координат точек и углов наклона элементов рабочего оборудования по их линейным размерам (в формулах размеры указываются точками схемы, а углы знаком угла и тремя точками), координатам крепления стрелы к платформе и размерам гидроцилиндров.

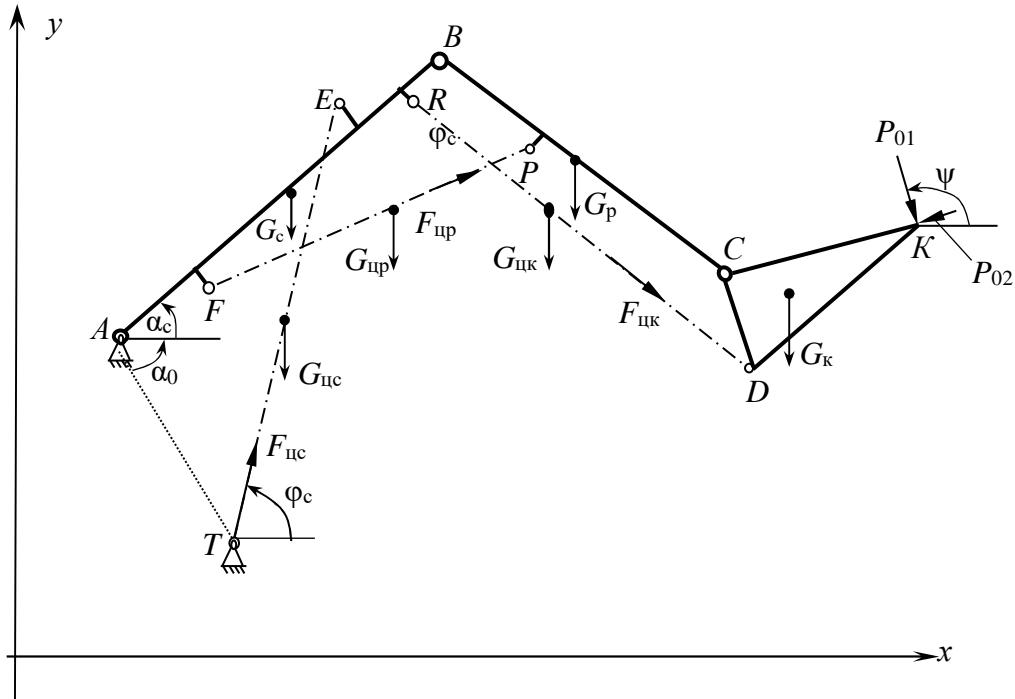


Рис. 1. Схема рабочего оборудования:

$A, T, E, F, P, R, B, C, D$  – шарниры;  $K$  – вершина зуба ковша;  $KCD$  – схема профиля ковша;  $CB$  – рукоятка;  $AB$  – стрела;  $TE, FP, RD$  – гидроцилиндры поворота стрелы, рукоятки и ковша;  $G_c, G_p, G_k, G_{цс}, G_{цр}, G_{цк}$  – силы тяжести стрелы, рукоятки, ковша, гидроцилиндров стрелы, рукоятки, ковша стрелы, рукоятки, ковша;  $\alpha_c, \alpha_0, \phi_c, \psi$  – углы

Угол наклона линии  $AB$  к горизонту

$$\alpha_c = \arccos \frac{AE^2 + AT^2 - L_{цс}^2}{2 \cdot AE \cdot AT} - \angle_{BAE} - \alpha_0.$$

Координаты оси шарнира "стрела-рукоятка" (точка  $B$ )

$$x_B = x_A + AB \cdot \cos \alpha_c; \quad y_B = y_A + AB \cdot \sin \alpha_c.$$

Расчет координат рукоятки определяются относительно точки  $B$  по углу, определенному по длине гидроцилиндра рукоятки  $L_{цр}$  (отрезок  $FP$  на рис. 1):

$$\beta = \pi + \alpha_c - \arccos \frac{BF^2 + BP^2 - L_{цр}^2}{2 \cdot BF \cdot BP} - \angle_{BFF'} - \angle_{PBP'}.$$

$$x_C = x_B + BC \cdot \cos \beta; \quad y_C = y_B + BC \cdot \sin \beta.$$

Координаты вершины зуба ковша по длине гидроцилиндра ковша ( $L$  ковша):

$$\gamma = \beta - \pi - \angle_{RCR'} + \angle_{DCR}; \quad \angle_{DCR} = \arccos \frac{CD^2 + CR^2 - L_{цк}^2}{2 \cdot CD \cdot CR};$$

$$x_K = x_C + CK \cdot \cos(\gamma + \angle_{DCK}); \quad y_K = y_C + CK \cdot \sin(\gamma + \angle_{DCK}).$$

При расчете возможных усилий копания на зубьях ковша учитываются силы тяжести элементов.

Для расчета усилий на штоках гидроцилиндров используются условия равновесия относительно шарниров С, В и А.

$$F_{\text{ис}} = \frac{G_c(x_{\text{итс}} - x_A) + G_p(x_{\text{итр}} - x_A) + G_k(x_{\text{итк}} - x_A) + G_{\text{ис}}\left(\frac{x_T + x_E}{2} - x_A\right) + G_{\text{ип}}\left(\frac{x_F + x_P}{2} - x_A\right) + G_{\text{ик}}\left(\frac{x_R + x_D}{2} - x_A\right) + P_y(x_k - x_A) + P_x(y_k - y_A)}{L_{AT} \sin(\pi - \alpha_0 - \varphi_c)};$$

$$F_{\text{ип}} = \frac{G_p(x_{\text{итр}} - x_B) + G_k(x_{\text{итк}} - x_B) + G_{\text{ик}}\left(\frac{x_R + x_D}{2} - x_B\right) + P_y(x_k - x_B) + P_x(y_k - y_B) + 0,5G_{\text{ип}}(x_P - x_B)}{L_{BP} \sin \angle FPB};$$

$$F_{\text{ик}} = \frac{G_k(x_{\text{итк}} - x_C) + P_y(x_k - x_C) + P_x(y_k - y_C) - 0,5G_{\text{ик}}(x_D - x_C)}{L_{CD} \sin \angle RDC},$$

где  $F_{\text{ис}}$ ,  $F_{\text{ип}}$ ,  $F_{\text{ик}}$  – усилия на штоках гидроцилиндров стрелы, рукояти и ковша;  $P_x = -P_{01} \cos \psi - P_{02} \sin \psi$ ,  $P_y = -P_{01} \sin \psi + P_{02} \cos \psi$  – проекции усилия сопротивления копанию.

При расчете параметров как гидравлических, так и карьерных канатных экскаваторов усилие на зубьях ковша при отделении грунта от массива определяется по формуле Н.Г. Домбровского – В.П. Горячкина [2]:

$$P_{01} = k_1 B_k c,$$

где  $k_1$  – удельное сопротивление грунта копанию;  $B_k$  – ширина ковша;  $c$  – толщина грунтовой стружки в направлении, перпендикулярном траектории движения режущего инструмента.

Толщина стружки определяется по условию заполнения ковша. У гидравлических экскаваторов с рабочим оборудованием прямая лопата копания чаще всего происходит поворотом ковша и реже при повороте рукояти и стрелы.

В процессе копания поворотом ковша усилия на зубьях зависят как от усилий, развиваемых ковшовыми гидроцилиндрами, так и от размеров и углов наклона элементов, передающих усилия на ковш. При копании поворотом ковша при расчете усилий обычно считается, что рукоять и стрела неподвижны, и удерживаются соответствующими гидроцилиндрами. Неподвижность стрелы и рукояти обеспечивается, если максимальное реактивное усилие на штоках гидроцилиндров, которое определяются рабочей площадью и давлением настройки предохранительных клапанов, превышает значение реакции от усилия на зубьях ковша [3].

Если же реактивное усилие ниже требуемого, то произойдет «просадка» штоков гидроцилиндров стрелы или рукояти и усилие на зубьях ковша снизится. В модели расчета усилий копания такая особенность должна учитываться.



Для расчета возможных усилий на зубьях ковша по полученным выражениям в алгоритме первоначально задается усилие заведомо большее возможного для рассматриваемого экскаватора. По этому усилию определяется усилие на штоках гидроцилиндров ковша, рукояти и стрелы, а также выполняется проверка на устойчивость. Если хотя бы одно из усилий на штоках окажется больше рабочего усилия соответствующего гидроцилиндра, или нарушится устойчивость экскаватора, то уменьшается усилие на зубьях ковша и повторяется расчет. Таким последовательным уменьшением усилий на зубьях определяется возможное усилие копания в каждой точке рабочей зоны.

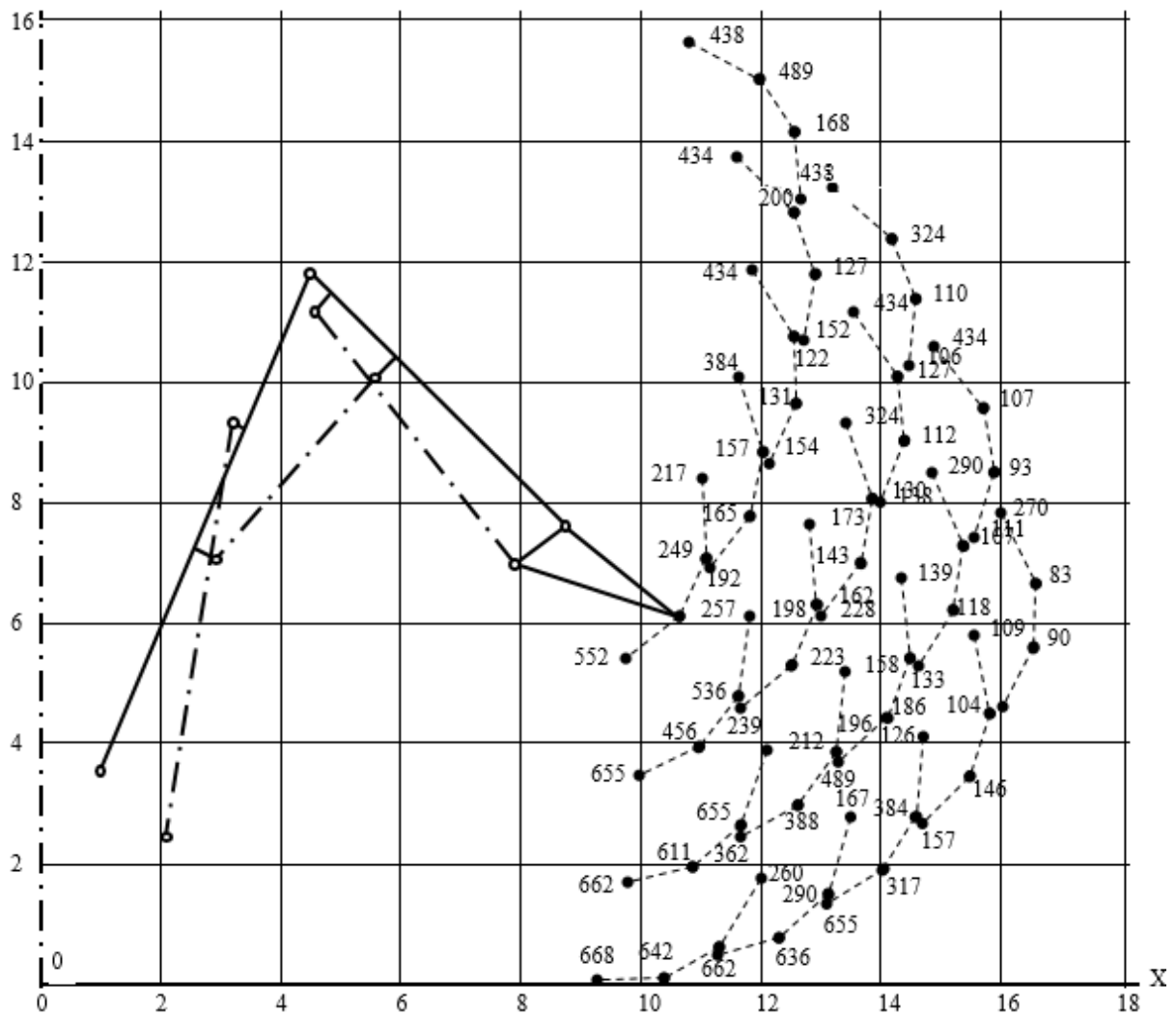


Рис. 2. Результаты расчета усилий

Для получения значений усилий во всех возможных точках рабочей зоны составлена имитационная модель рабочего процесса, которая реализована в виде программы для ЭВМ на алгоритмическом языке. Модель включает четыре цикла. Во внешнем цикле выполняется проверка на устойчивость. Если условие устойчивости не выполняется, то снижается усилие на зубьях ковша и повторяются расчеты до тех пор, пока не будет обеспечена устойчивость. Во втором цикле обеспечено дискретное вы-

движение штоков гидроцилиндров стрелы (от минимального до максимального значения), что обеспечивает поворот стрелы относительно пяты. В третьем цикле для каждого положения стрелы реализовано дискретное выдвигание штоков гидроцилиндров рукояти, что обеспечивает поворот рукояти и перемещение ковша в точку копания. Во внутреннем цикле для каждого положения рукояти реализовано дискретное выдвигание штоков гидроцилиндров ковша и за счет этого копание поворотом ковша. В алгоритме предусмотрена работа при копании поворотом рукояти, в том режиме внутренний цикл исключается и копание происходит без поворота ковша относительно рукояти.

В программе предусмотрен вывод результатов в табличной форме и в виде рисунка (см. рис. 2).

### **Список литературы**

1. Комиссаров А.П., Лагунова Ю.А., Шестаков В.С. Проектирование карьерных экскаваторов. М.: Инновационное машиностроение, 2017. - 228 с.
2. Машины для земляных работ: Учеб. для вузов /Д.П. Волков, В.Я. Крикун, П.Я. Тотолин и др.; Под ред. Д.П. Волкова. – Машиностроение, 1992. – 448 с.: ил.
3. Комиссаров А.П. и др. Обоснование рабочей характеристики карьерного экскаватора / Комиссаров А.П., Лагунова Ю.А., Лукашук О.А., Телиман И.В. // Горное оборудование и электромеханика, 2017. № 2., С. 7-10.
4. Комиссаров А.П. и др. Соотношения активных и реактивных нагрузок в механизмах рабочего оборудования гидравлического экскаватора / Комиссаров А.П., Лагунова Ю.А., Шестаков В.С., Телиман И.В. // Горное оборудование и электромеханика, 2018. № 1. С. 7-10.

622:658.562; 622.121; 622.142.1; 622.143.1

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ «ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА» РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Шибанов Д.А., к.т.н, Иванов С.Л., д.т.н., проф., Чишегоров Д.А., студент  
Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург

*Обосновываются причины необходимости внедрения технологии «цифровой двойник» в проектирование рабочего оборудования экскаватора. Внедрение будет иметь большое значение в горном машиностроении. Внедрение и развитие технологий цифрового двойника необходимо на стадии проектирования новых моделей. Цифровой двойник позволяет заблаговременно оптимизировать конструкцию по выбранным критериям. Общим ориентиром при разработке цифрового двойника рабочего оборудования служит минимальное участие человека. Благодаря интеграции работ по этапам создания цифрового двойника в информационно-диагностическую систему машины, появится возможность управлять жизненным циклом изделия и оптимизировать ТОиР под фактические условия и режимы эксплуатации.*

***Ключевые слова:** карьерный экскаватор, цифровой двойник, рабочее оборудование, оптимизация нагрузок, эффективность эксплуатации.*

## USING A “DIGITAL TWIN” TECHNOLOGY OF WORKING EQUIPMENT OF MINING EXCAVATOR AT THE DESIGN STAGE

Shibanov D.A., Ivanov S.L., Chishegorov D.A.

*The reasons for the necessity to implement the technology of "digital twin" in the design of the working equipment of the excavator was substantiated. The implementation will have a great importance in mining engineering. The introduction and development of digital twin technology is necessary at the design stage of new models. The digital twin allows you to optimize the design in advance according to the selected criteria. A common guideline in the development of a digital twin of working equipment is the minimal participation of a person in the process. There is an example of modeling the distribution of power flows in working equipment in the article. Thanks to the integration of work on the stages of creating a digital double into the information and diagnostic system of the machine, it will be possible to manage the product life cycle and optimize maintenance and repair under actual conditions and operating conditions.*

***Keywords:** mining excavator, Digital Twin Instance, load optimization, operational efficiency.*

Современная технология проектирования горного оборудования, в частности, карьерных экскаваторов включает следующие основные этапы по ЕСКД ГОСТ 2.103-68: эскизный проект, технический проект, разработка рабочей конструкторской документации, изготовление опытного образца и его опытно-промышленный испытания. Далее следует внесение изменений в конструкцию на основе опытно-промышленных испытаний и запуск машины в серийное производство.

На стадии технического проекта проводятся прочностные расчеты по разработанным трехмерным моделям, проводится оценка режимных параметров главных механизмов экскаватора [1], решаются нелинейные задачи в т.ч. контактных нелинейностей, нелинейных свойств материалов, геометрических нелинейностей при больших деформациях. В тоже время математические расчёты на прочность оборудования, которые в данный момент применяются во многих российских КБ, не дают полного представления о работе оборудования в реальных условиях эксплуатации. По резуль-

татам подобных расчетов могут быть получены неверные выводы, что приведет к непредсказуемому выходу из строя и росту затрат на ремонт.

Стоит отметить, что изготовление опытного образца и его полноценные опытные испытания для российских производителей карьерных экскаваторов не возможны в виду высокой стоимости головного образца и отсутствия специальных испытательных полигонов. Наиболее востребованные на горнодобывающих предприятиях экскаваторы с объемом ковша 20 м<sup>3</sup> и более имеют массу 700 тонн более [2, 3], что влечет за собой соответствующую высокую стоимость самого изделия. Поэтому новая разработанная модель карьерного экскаватора с заводским № 1 частично финансируется Заказчиком, и поставляется на условиях опытно-промышленной эксплуатации.

Для снижения рисков машиностроительных предприятий, как изготовителя техники, и ГОКов, как потребителя опытного образца экскаватора необходимо внедрение и развитие технологий «цифрового двойника» (ЦД-технологий) на стадии проектирования новых моделей.

Современное понятие ЦД-технология [4, 5] выходит за рамки обычной 3D модели. Цифровой двойник – это совокупность самой модели объекта, симуляций рабочего процесса копания с динамической моделью распределения нагрузки на узлы и агрегаты экскаватора, а также данных о работе объекта, получаемых с помощью тензометрии. При этом цифровой двойник не ограничивается сбором данных, полученных на стадии разработки и изготовления продукта. Он продолжает агрегировать данные в течение всего жизненного цикла объекта.

Технология дает возможность моделировать самые разные ситуации при реальной эксплуатации экскаватора. ЦД-технология позволяет заблаговременно оптимизировать конструкцию по выбранным критериям.

При наличии прототипа объекта проектирования, например – рабочее карьерного экскаватора для создания его цифрового двойника необходимо проведение испытаний в реальных условиях эксплуатации для выявления деформаций и действующих напряжений в элементах конструкции. Это позволит получить более точную симуляционную модель, наиболее близкую к реальности. Далее необходимо обеспечить работоспособность и динамичность такого цифрового двойника.

Для этого симулируют процесс копания с возможностью фиксации нагрузок на рабочее оборудование в динамике, сопоставимых с фактическими; моделируется процесс развала горной массы; проводят анализ напряженно-деформированного состояния по полученным нагрузкам в статическом и динамическом режимах нагружения. Как итог появляется возможность симуляции процесса поведения экскаватора на всем протяжении его срока службы.

Общим ориентиром при разработке цифрового двойника рабочего оборудования служит минимальное участие человека в процессе определения и анализа нагрузок, режимов работы конструкции и ее жизненного

цикла, в чем состоит главное отличие цифрового двойника от трехмерной модели.

Для реализации заявленной цели, указанной в заголовки настоящей статьи, необходимо выполнение следующих задач:

- разработать параметрические модели узлов рабочего оборудования;
- осуществить моделирование энергетических потоков от главных приводов к рабочему оборудованию;
- моделировать распределения силовых потоков на рабочем оборудовании при экскавации экскаватора;
- моделировать забой с вариативными характеристиками;
- моделировать кинематику процесса экскавации;
- симулировать процесс экскавации с фиксацией нагрузок на элементы рабочего оборудования в процессе копания;
- осуществить статический и динамический расчет конструкции рабочего оборудования по полученной циклограмме нагрузок с учетом полученного напряженно-деформированного состояния;
- имитация изменение рабочего состояния в период срока службы изделия.

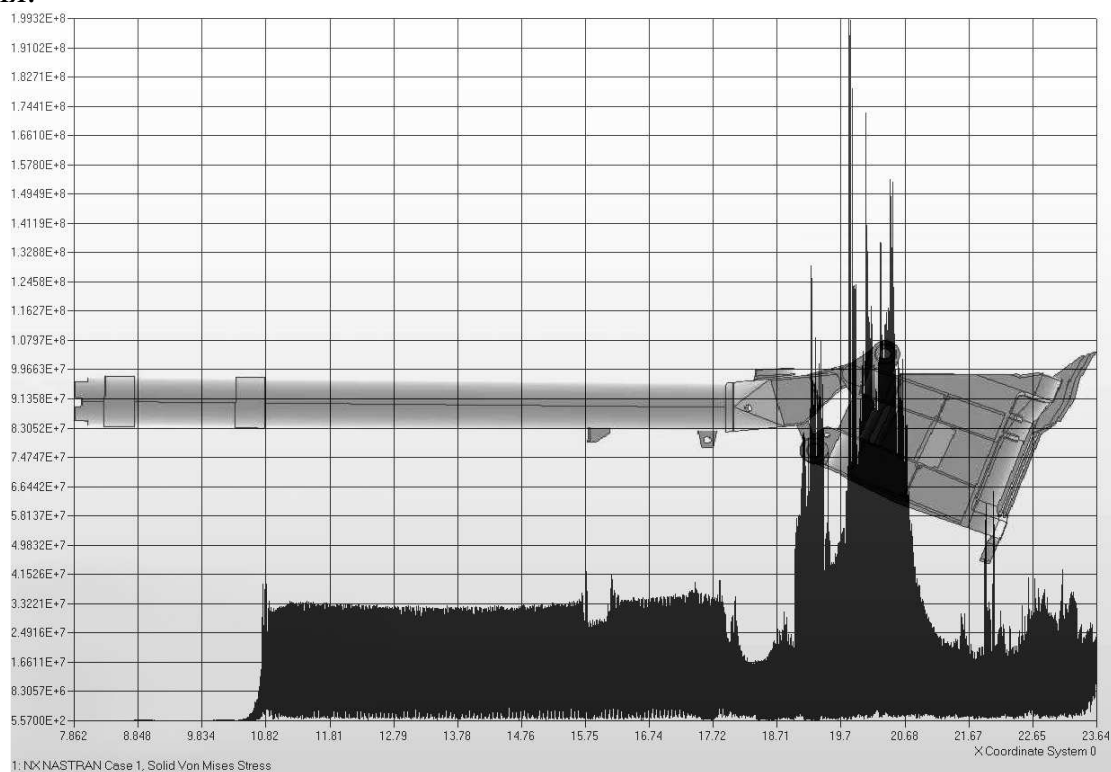


Рисунок 1. Моделирование распределения силовых потоков по рабочему оборудованию при экскавации

В настоящее время выполнено моделирование распределение силовых потоков по рабочему оборудованию (см. рисунок 1). В рамках моделирования изменялся угол резания (угол между осевыми линиями зуба и рукоятки, изменение угла производилось регулировкой тяг крепления ковша к рукоятки).

Работа по моделированию кинематики процесса экскавации, процесса передачи энергии от главных приводов и частичное моделирование забоя выполнены при создании тренажерного комплекса экскаватора ЭКГ-18Р. Принцип работы тренажера основывается на математической модели экскаватора, максимально приближенной к реальной машине, учитывая возможные вариации типа электрического привода и установленного рабочего оборудования. Усилия на виртуальном рабочем оборудовании экскаватора в тренажерном комплексе соответствуют реальным значениям существующей модели экскаватора и характеристикам экскавируемой горной массы [6].

Результаты работ по тем или иным этапам создания цифрового двойника карьерного экскаватора необходимо интегрировать в информационно-диагностическую систему машины [7]. Тем самым будет формироваться статистическая база работы, появится возможность управлять жизненным циклом изделия и оптимизировать ТОиР под фактические условия и режимы эксплуатации, даст сервисным подразделениям широкий спектр возможностей для анализа текущего состояния изделия.

### Список литературы

1. Оценка режимных параметров главных механизмов экскаватора "Горный" // Комиссаров А.П., Лагунова Ю.А., Шестаков В.С., Лукашук О.А./Горное оборудование и электромеханика. 2019. – № 3 (143). С. 3-8.
2. Konstantin Anistratov. Digging up potential / Konstantin Anistratov, Taras Donchenko, Daniil Shibanov // World Coal. – 2018. – Vol. 27, № 7. –Р. 45-47.
3. Иванов И.Ю., А. П. Комиссаров, Ю.А. Лагунова, Шестаков В. С. Интенсификация процессов экскавации горных пород // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2015.– № 3. – С. 94-100
4. Внедрение цифровых двойников как одно из ключевых направлений цифровизации производства / Н.В. Курганова, М.А. Филин, Д.С. Черняев, А.Г. Шаклеин, Д.Е. Намиот // International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162. – 2019. – Vol. 7, № 5. – Р. 104-109
5. Как цифровые двойники помогают российской промышленности. – Rusbase, 2019. – URL: <https://rb.ru/longread/digital-twin/> (дата обращения: 15.02.2020). — Текст: электронный.
6. Емельянов А.А., Иванов С.Л., Шибанов Д.А. Тренажерный комплекс карьерного экскаватора, как инструмент оценки величины его остаточного ресурса / А.А. Емельянов, С.Л. Иванов, Д.А. Шибанов // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов XVI международная научно-техническая конференция «Чтения памяти В.Р. Кубачека», проведенной в рамках Уральской горнопромышленной декады 12-13 апреля 2018 г. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет. – 2018. – С. 378-383.
7. Ганин А.Р., Донченко Т.В., Шибанов Д.А. Современные инженерные решения и практический опыт эксплуатации карьерных экскаваторов ЭКГ-18Р/20К производства «ИЗ-КАРТЭКС» / А.Р. Ганин, Т.В. Донченко, Д.А. Шибанов // Горное дело. – 2014. - №1(2). – С. 40-47.

УДК 378.147

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕЦИФИКАЦИИ WSSS ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ УМЕНИЙ И НАВЫКОВ ПО СПЕЦИАЛЬНЫМ ДИСЦИПЛИНАМ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Савинова Н. В.

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

*В статье аргументирована необходимость изменений учебных планов высшего образования в условиях перехода к цифровой экономике. Показано как можно использовать при формировании учебных программ специальных дисциплин спецификации компетенций движения WorldSkills.*

**Ключевые слова:** учебные планы, компетенции, спецификации WSSS, навыки.

## USING THE WSS SPECIFICATION FOR FORMATION SKILLS IN SPECIAL HIGHER EDUCATION DISCIPLINES

Savinova N.V.

*The article argues for the need to change the curricula of higher education in the transition to the digital economy. It is shown how the WorldSkills movement competency specifications can be used in the formation of training programs for special disciplines.*

**Keyword:** curriculum, competencies, WSS specifications, skills

Попытаемся задаться вопросом, что есть высшее образование (ВО). Согласно нашим энциклопедическим словарям «высшее образование - совокупность систематизированных знаний и практических навыков, позволяющих решать теоретические и практические задачи по профилю подготовки, используя и творчески развивая современные достижения науки, техники и культуры. Под термином ВО понимается «подготовка специалистов высшей квалификации для отраслей экономики, науки, техники и культуры» [1].

Как видно из определения, знания и навыки должны определять квалификацию выпускника ВУЗа. Но на деле изучение дисциплин ВО большей части ориентированы на подачу теоретических знаний, часто в ущерб практическим навыкам. Здесь хотелось бы поддержать мнение проректора ФГБОУ ВО «Российский университет транспорта (МИИТ)» Владимира Тимонина, который на бизнес-фестивале Московской школы управления СКОЛКОВО 2019 высказал следующее мнение «университет уже давно утратил монополию на создание, хранение и передачу знаний». Современное общество – это общество, имеющее широчайший доступ к информации. Задача современных ВУЗов социализировать молодых людей, научить анализировать потоки информации и оперативно получать необходимые навыки.

Диплом о высшем образовании при трудоустройстве сегодня недостаточен, требуется опыт. Работодателей сегодня интересуют выпускники, которые за время учебы, кроме теоретических знаний, успели получить конкретные навыки и опыт работы по специальности. Кто не помнит пре-

словутого выражения «Забудьте обо всем, чему вас учили». Часто работодатели говорят об оторванности преподаваемых дисциплин от потребностей быстро развивающихся индустрий.

Отличительная особенность современности изменения содержательной части специальностей, которая связана со стремительным переходом в новый технологический уклад, так сказать в цифровое измерение. Отсюда вытекает задача для высших учебных заведений – при подготовке специалистов работать на опережение.

Из всего выше сказанного появляются еще не один вопрос. Что впереди, чему учить? Как учить? Как контролировать процесс и полученные знания и навыки? Кто должен и будет учить «будущему»? Ответы на эти вопросы должны быть найдены в кратчайшие сроки.

На мой взгляд, варианты ответов на некоторые поставленные вопросы уже есть.

В 2013 году в России появилось движение WorldSkills International, а уже 2019 году город Казань принимал мировой чемпионат WorldSkills. Началось движение WS в Испании после Второй Мировой войны, для повышения статуса рабочих профессий был предложен конкурс по профессионально-техническому мастерству. В 1950 году состоялись первые международные соревнования WorldSkills. В России с подачи президента В. В. Путина движение называется «Молодые профессионалы (WorldSkills Russia)». Цель этого движения состоит в «повышение престижа рабочих профессий и развитие профессионального образования путем гармонизации лучших практик и профессиональных стандартов во всем мире посредством организации и проведения конкурсов профессионального мастерства как в каждой отдельной стране, так и во всем мире в целом.» Миссия движения в развитии профессиональных компетенций, повышение престижа высококвалифицированных кадров, демонстрация важности компетенций для экономического роста и личного успеха [2].

Сейчас в движении WorldSkills Russia перечень компетенций перевалил за 100. Под компетенцией понимается набор знаний и навыков в рамках спецификации стандартов WorldSkills (WSSS). Сама спецификация представляет собой таблицу, в которую сведены и сгруппированы по разделам знания и умения по конкретной специальности (профессии) или направлению (для сквозных навыков), которые лежат в основе лучших международных практик технического и профессионального уровня выполнения работы. В стандарты WorldSkills меняются в среднем на 30% каждые два года, в соответствии с развитием специальности за указанный период. На каждом чемпионате мира международные эксперты движения сносят нововведения в техническое описание навыков, и формируют критерии их оценивания.

Да, движение WorldSkills пропагандирует рабочие профессии, но сложно отрицать, что инженер, специалист более высокой квалификации должен понимать и владеть рабочими навыками выбранной профессии или



сквозными техническими навыками, как то, работой с техническими документами, выполнением измерений и т.д. Более того, оборудование цифровой промышленности такой сложности, что управлять им может специалист с богатым набором специальных навыков.

Таким образом, при формировании сегодня программ общеинженерных и специальных дисциплин использование спецификаций WSSS весьма актуально.

Рассмотрим для примера умения, описанные в спецификации WSSS компетенции «Инженерный дизайн САД» [3]. В таблице с перечнем умений представлен перечень дисциплин, в которых уместно данные навыки развивать для специальности 15.03.02 «Технологические машины и оборудование».

Таблица

Ряд навыков компетенции «Инженерный дизайн САД»  
по спецификации WSSS

Раздел		Дисциплины для формирования навыков
1	<b>Организация и управление работой</b>	
	<u>Специалист должен уметь:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Применять признанные международные стандарты (ISO) и действующие отраслевые стандарты ЕСКД там, где необходимо</li> <li>· Соблюдать правила в области техники безопасности и норм охраны труда на рабочем месте</li> </ul>	Инженерная и компьютерная графика, все спец. дисциплины
	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Широко применять знания в области прикладной математики, физики и геометрии при автоматизированном проектировании</li> <li>· Использовать стандартные изделия и обозначения и пользоваться библиотекой стандартных изделий</li> <li>· Использовать и правильно интерпретировать техническую терминологию и обозначения в чертежах, подготовленных с помощью САПР</li> <li>· Использовать общепризнанные информационно-вычислительные системы и специальные профессиональные программы для проектирования, чтобы разрабатывать и интерпретировать проекты высокого качества</li> </ul>	Теоретическая механика, ТММ, Сопротивление материалов, Детали машин, все спец. дисциплины
	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Проводить работу, которая полностью отвечает строгим требованиям стандартов по точности проектирования и представления конструкций потенциальным пользователям</li> <li>· Инициативно поддерживать профессиональные умения и знания и изучать новые технологии и практики</li> <li>· Предлагать и применять инновационные творческие решения технических и конструкторских проблем и новых требований</li> <li>· Давать наглядное и четкое представление о продукте при показе его заказчику сохранять работу (файлы) для дальнейшего использования</li> </ul>	Производственные практики, Оптимизация технических объектов, Основы проектирования технологических машин, Расчет и конструирование машин и оборудования нефтяных и газовых промыслов
2	<b>Материалы, матобеспечение и техобеспечение</b>	
	<u>Специалист должен уметь:</u>	Информатика, Ин-

	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Включать оборудование и активизировать программы для моделирования</li> <li>· Подключать и проверять периферийные устройства, такие как клавиатура, мышка, 3D-манипулятор, графопостроитель и принтер</li> <li>· Использовать операционную систему компьютера и специализированные программы, чтобы умело создавать и сохранять файлы и управлять ими</li> <li>· Правильно выбирать из экранного меню пакеты данных для черчения или графические эквиваленты</li> <li>· Использование разных способов получения доступа к использованию программных функций, таких как мышка, меню или панель инструментов</li> <li>· Настройка параметров компьютерной программы</li> <li>· Эффективное планирование процесса производства для результативной разработки рабочего процесса</li> <li>· Использование графопостроителей и принтеров для подготовки печатных материалов и чертежей</li> </ul>	<p>женерная и компьютерная графика, Компьютерные технологии в машиностроении, Управление техническими системами</p>
3	<p><b>Трёхмерное моделирование и создание анимации</b></p> <p><u>Специалист должен уметь:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Моделировать компоненты, оптимизируя моделирование сплошных тел композицией элементарных объектов</li> <li>· Создавать параметрические электронные модели</li> <li>· Назначать характеристики конкретным материалам (плотность)</li> <li>· Назначать деталям цвета и текстуру</li> <li>· Создавать сборки из деталей трёхмерных моделей</li> <li>· Создавать сборки конструкций (сборочные единицы)</li> <li>· Получать доступ к информации из файлов данных</li> <li>· Моделировать и собирать основные сборочные единицы главной сборки</li> <li>· Рассчитывать примерное значение всех недостающих размеров</li> <li>· Собирать смоделированные детали в сборочные единицы в соответствии с требованиями</li> <li>· Накладывать на изображения графические переводные картинки наподобие логотипов в соответствии с требованиями</li> <li>· Создавать анимацию, чтобы демонстрировать, как работают или собираются отдельные детали</li> <li>· Сохранять работу для будущего доступа</li> </ul>	<p>Инженерная и компьютерная графика, Материаловедение, ТММ, Сопrotивление материалов, Детали машин, Компьютерные технологии в машиностроении, Эргономика, Расчет и конструирование машин и оборудования нефтяных и газовых промыслов, Практика по получению первичных профессиональных умений и навыков, Практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности</p>
5	<p><b>Восстановление конструкции (реверсивный инжиниринг) физических моделей</b></p> <p><u>Специалист должен уметь:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Определять размеры по физической детали, используя принятые в отрасли приборы</li> <li>· Делать эскизы от руки</li> <li>· Использовать измерительные приборы, чтобы создавать точные копии</li> </ul>	<p>Метрология, стандартизация и сертификация, Материаловедение, Детали машин, Основы проектирования технологических машин</p>
6	<p><b>Чертежи и замеры</b></p>	

<p><u>Специалист должен уметь:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Разработать чертежи по стандарту ЕСКД (либо ISO) вместе с любой письменной инструкцией</li> <li>· Применять стандарты на условные размеры и допуски и на геометрические размеры и допуски, соответствующие стандарту ЕСКД (либо ISO)</li> <li>· Применять правила чертежей и имеющий приоритет последний стандарт ЕСКД (либо ISO), регулирующий данные правила</li> <li>· Использовать руководства, таблицы, перечни стандартов и каталогов на продукцию</li> <li>· Проставлять позиции и составлять спецификации</li> <li>· Создавать чертежи 2D</li> <li>· Создать разнесенный вид</li> </ul>	<p>Инженерная и компьютерная графика, ТММ, Сопротивление материалов, Детали машин, Компьютерные технологии в машиностроении, Основы проектирования технологических машин, Расчет и конструирование машин и оборудования нефтяных и газовых промыслов</p>
---	--

**Вывод:** Анализ востребованных сквозных навыков по использованию систем автоматизированного проектирования в современном производстве показывает, что осваивать их необходимо на протяжении всего времени обучения в высшем техническом учебном заведении, как в общеинженерных, так и в специальных дисциплинах. Своевременное получение показанных умений даст выпускникам опыт практического выполнения инженерных задач в приложении к получаемой специальности.

### Список литературы

1. Высшее образование // Большая советская энциклопедия: [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров. — 3-е изд. — М.: Советская энциклопедия, 1969—1978.
2. Сайт движения Молодые профессионалы WorldSkills Russia [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://worldskills.ru/o-nas/dvizhenie-worldskills/czel-i-missiya.html/> (26.02.2020)
3. Техническое описание компетенции «Инженерный дизайн САД» [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
4. [https://drive.google.com/drive/folders/1bFYA\\_CbYJV5NiPbk7jppq3UqsTK3-9X\\_a](https://drive.google.com/drive/folders/1bFYA_CbYJV5NiPbk7jppq3UqsTK3-9X_a) (10.12.2019).

**ПРОБЛЕМЫ  
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ,  
ПРОИЗВОДСТВА  
И КОНСТРУИРОВАНИЯ  
В МАШИНОСТРОЕНИИ**

*Что, и где, и как построить,  
Да и нужно ль в это лезть,  
Сколько это будет стоить –  
Мы узнаем только здесь!*

Доц. П.А. Жиганов

УДК 620.197.2

## ПРИМЕНЕНИЕ АНТИКОРРОЗИЙНОЙ ЗАЩИТЫ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ГОРНЫХ МАШИН

Антоневич М.О., магистрант, Лукашук А.Д., студент, Лукашук О.А., доц., к.т.н.  
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента  
РФ Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург

*Эксплуатация горных машин связана с постоянным воздействием агрессивных климатических факторов и химических сред, существенно ускоряющих износ металлических конструкций и способствующих развитию коррозии. В связи с этим вопрос надежной защиты металлоконструкций от коррозии сохраняет свою актуальность на протяжении многих лет. Правильный выбор защитного покрытия металла позволяет существенно продлить сроки безремонтной службы оборудования, следовательно, значительно снизить затраты на их эксплуатацию. В статье представлена аналитическая информация по существующим нормативным документам, регламентирующим порядок и периодичность мероприятий защиты металлоконструкций от коррозии, даны рекомендации по выбору метода защиты от коррозии, показана экономическая эффективность применения эпоксидной грунт-эмали.*

**Ключевые слова:** горное оборудование, коррозия, металлические конструкции.

## APPLICATION OF ANTI-CORROSION PROTECTION FOR INCREASING THE SERVICE LIFE OF METAL STRUCTURES MINING MACHINE

*Operation of mining machines is associated with constant exposure to aggressive climatic factors and chemical environments that significantly accelerate the wear of metal structures and contribute to the development of corrosion. In this regard, the issue of reliable protection of metal structures from corrosion remains relevant for many years. The correct choice of metal protective coating allows you to significantly extend the period of maintenance-free service of equipment, therefore, significantly reduce the cost of their operation. The article presents analytical information on the existing normative documents regulating the procedure and frequency of measures to protect metal structures from corrosion, gives recommendations on the choice of a method of protection against corrosion, shows the economic efficiency of the use of epoxy primer enamel.*

**Keywords:** mining equipment, corrosion, metal structures.

Металлические конструкции горных машин в процессе эксплуатации подвергаются негативному воздействию климатических и технологических факторов. Осадки, солнечное излучение, перепады температур, конденсация, загрязненная атмосфера ускоряют разрушение конструкционных материалов. Между тем длительная бесперебойная и безопасная работа – необходимое условие для всех сооружений и оборудования. Поэтому выбор способа антикоррозийной защиты объектов – одна из важнейших задач при их разработке, эксплуатации, монтаже и ремонте.

Коррозия – это процесс окисления металлов в результате воздействия с окружающей средой. Коррозионным процессам подвержены абсолютно все металлические изделия. Коррозия нарушает целостность металла, приводит к разрушению конструкций, создает опасные для жизни и здоровья человека ситуации, существенно уменьшает срок службы металлических изделий. Именно поэтому, борьба с коррозией оборудования – одна из актуальных проблем современности.

Существует множество видов антикоррозийной защиты оборудования, но все они в основном сводятся к ограничению контакта поверхности металлов с факторами внешней среды (нанесение защитных покрытий органического и неорганического происхождения): ингибиторы органического происхождения; лакокрасочные покрытия; металлы и сплавы, более устойчивые к воздействию внешней среды; электрохимическая защита; полимерные пленки; цинкование.

Защита металлоконструкций от коррозии осуществляется путем нанесения на их поверхность различных видов лакокрасочных покрытий, отвечающих требованиям ГОСТ 9.032—74 "Покрытия лакокрасочные. Классификация и обозначения" [23]. Данный стандарт устанавливает требования к покрытиям по следующим дефектам: включения, шагрень, потеки, штрихи, риски, волнистость, разнооттеночность. Также представлены требования к показателям окрашиваемой поверхности, такие как: шероховатость, неплоскостность, отдельные неровности.

Подготовка поверхности под окраску производится в соответствии с ГОСТ 9.402 "Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Подготовка металлических поверхностей перед окрашиванием" [24]. Окраска металлических конструкций горных и подъемно-транспортных машин, помимо предохранения их от коррозии, имеет цель придать им красивый внешний вид и выделить опасные для жизни узлы и детали. Лакокрасочные покрытия должны отвечать требованиям ГОСТ 9.032-74 "Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Группы, технические требования и обозначения", в нем собраны группы ЛКМ, технические требования и обозначения.

ГОСТ 9.104-79 "Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Группы условий эксплуатации", стандарт распространяется на лакокрасочные покрытия изделий и устанавливает группы условий эксплуатации покрытий для макроклиматических районов и категорий размещения по ГОСТ 15150-69 [25].

ГОСТ 9.401-91 "Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Общие требования и методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов". [26] Настоящий стандарт устанавливает общие требования и методы ускоренных испытаний лакокрасочных покрытий металлических и неметаллических поверхностей изделий, предназначенных для условий эксплуатации по ГОСТ 9.104 (кроме В5) и типов атмосферы по ГОСТ 15150.

ISO 12944 "Лаки и краски. Защита от коррозии стальных конструкций системами защитных покрытий". Стандарт ISO 12944 – один из основных нормативных документов для специалистов, работающих в сфере применения лакокрасочных покрытий [28]. Стандарт ISO 12944 позволяет выбрать систему ЛКП (количество и толщины слоев, типы связующих), если известны условия эксплуатации и ожидаемый срок службы.

Профилактика коррозии на этапе проектирования является первым и самым ответственным шагом за контролем коррозионного процесса.

К мероприятиям по защите от коррозии на этапе проектирования относятся следующие **группы методов**:

- оценка агрессивности среды, которая необходима для правильного выбора материала оборудования и рационального его размещения;
- оценка и выбор материалов, совместимость материалов;
- оценка характера соединения материалов с целью исключения застойных зон, углублений, обеспечения минимальной площади контакта поверхности с агрессивной средой, предотвращения разбрызгивания жидкостей;
- выбор крепежных соединений.

Общие **рекомендации при выборе метода защиты** или нескольких методов:

1) способ защиты должен воздействовать на контролируемую стадию коррозионного процесса (например, для металлов, склонных к пассивации, эффективно применять легирование для облегчения перехода в пассивное состояние или анодную защиту; легкопассивирующиеся металлы в растворах серной, азотной и фосфорной кислот и их солей можно защищать, используя анодную защиту от внешнего источника тока);

2) следует учитывать длительность эксплуатации изделия или конструкции (например, защитные покрытия обеспечивают длительную эксплуатацию металлоконструкции; при межоперационном хранении изделий используются смазки или контактные ингибиторы);

3) необходимо учитывать конструктивные особенности металлических изделий (для сложнопрофильных изделий не рекомендуется использовать гальванические покрытия, так как не все участки поверхности можно покрасить равномерно);

4) условия эксплуатации металлических конструкций также определяют выбор способа защиты (например, при повышенных температурах не рекомендуется использоваться ЛКП, в промышленной атмосфере не стойки кадмиевые покрытия);

5) рекомендуется использовать комбинированные методы защиты;

6) следует учитывать экономический фактор, т.е. стоимость метода защиты должна соответствовать стоимости металлоконструкции (дорогие способы защиты – анодная защита, катодное легирование благородными металлами; дешевые – лакокрасочные, фосфатные, цинковые покрытия);

7) следует выбирать и разрабатывать экологически безопасные технологии коррозионной защиты (самым чистым методом среди электрохимических является анодная защита от внешнего источника тока).

При оценке способов защиты следует иметь в виду простоту защиты, удобство обслуживания, доступность материалов. Необходимо также учитывать, что в настоящее время в экономике промышленно развитых стран

осуществляется тенденция экономии металлов и металлических сплавов и замены их на неметаллические материалы.

Проведенный анализ существующих способов защиты от коррозии показал наибольшую эффективность применения грунт-эмалей, отличающихся высоким содержанием нелетучих веществ, позволяющих создавать толстослойное покрытие, отличающееся повышенными защитными характеристиками. Грунт-эмаль ИЗОЛЭП-mastic применяется как для защиты новых металлоконструкций, так и для ремонта старых покрытий. При нанесении на поверхность, подготовленную абразивоструйным способом, грунт-эмаль ИЗОЛЭП-mastic обеспечивает защиту от коррозии сроком до 18 лет. При нанесении на плохо подготовленную поверхность и использовании ИЗОЛЭП-mastic в качестве грунт-эмали по ржавчине, срок службы покрытия составит 11 лет.

В качестве примера выполнен расчет экономической эффективности применения антикоррозионного покрытия мостового крана, установленного в закрытом складе серы. Технологической основой исследования антикоррозионной защиты действующего крана явилось неудовлетворительное состояние ранее использовавшихся систем антикоррозионной защиты металлоконструкций оборудования на участках вредного производства. При выборе антикоррозионного покрытия рассматривалось два варианта: предложенная система АКП на основе эпоксидной грунт-эмали, либо использование существующей не обновленной системы из грунтовки ГФ и эмали ПФ. Расчет показал, что продолжать использовать устаревшую систему защиты нерентабельно для предприятия, срок окупаемости вложений по применению новой системы - 4 месяца, увеличение срока службы оборудования до 18 лет.

### **Список литературы**

1. ГОСТ 9.032-74 "Покрытия лакокрасочные. Классификация и обозначения".
2. ГОСТ 9.402 "Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Подготовка металлических поверхностей перед окрашиванием".
3. ГОСТ 9.104-79 "Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Группы условий эксплуатации".
4. ГОСТ 9.401-91 "Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Общие требования и методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов".
5. ISO-12944 "Лаки и краски. Защита от коррозии стальных конструкций системами защитных покрытий".



УДК 621.9.06

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ГОРИЗОНТАЛЬНО-РАСТОЧНОГО СТАНКА С ЧПУ

Игнатъев С.А., магистрант, Лагунова Ю.А., проф.

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

*В статье предложено решение производственной задачи, связанной с ускорением процесса обработки деталей экскаваторов на горизонтально-расточном станке BSF-42/30A. Исследованы недостатки технологической оснастки станка, которые не позволяют ускорить процесс обработки детали (технологический процесс) без последующей модернизации. Принято решение установить устройство автоматической смены инструмента, которое обменивает инструменты между магазином и шпинделем для непрерывной обработки деталей.*

**Ключевые слова:** автоматическая смена инструмента, цепной механизм, цанга, концевой выключатель, электромагнитный клапан.

## MODERNIZATION OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT OF HORIZONTAL BORING MACHINE WITH CNC

Ignatyev S.A., Lagunova Yu.A.

*The article proposes a solution to the production problem associated with accelerating the processing of excavator parts on a horizontal boring machine BSF-42 / 30A. The shortcomings of the technological equipment of the machine, which do not allow to accelerate the process of processing the part (technological process) without subsequent modernization, are investigated. It was decided to install an automatic tool changer that exchanges tools between the magazine and the spindle for continuous processing of part.*

**Keywords:** automatic tool change, chain mechanism, collet, limit switch, solenoid valve.

Для ускорения процесса обработки деталей экскаваторов было принято решение произвести модернизацию горизонтально-расточного станка с ЧПУ BSF-42/30A, а именно произвести установку устройства автоматической смены инструмента (АТС - automatic tool change).

Цель работы – влияние автоматической смены инструмента на технологический процесс.

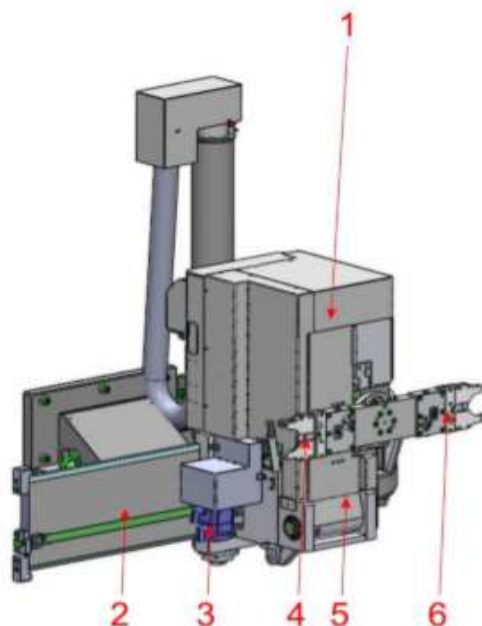
Устройство АТС (рис.1) необходимо установить слева в передней части стойки станка. Наиболее важными частями этого устройства являются следующие компоненты:

- радиусная направляющая;
- несущая каретка руки;
- рука для смены инструмента.

Радиусная направляющая представляет собой конструкцию, которая позволяет несущей каретке руки перемещаться в горизонтальном направлении для обмена инструментов между шпинделем и инструментальным магазином.

Несущая каретка руки предназначена для обеспечения опоры и горизонтального перемещения руки устройства, служащего для смены инструмента. Перемещения осуществляются с помощью серводвигателя, соединённого посредством шестерни и цепного привода с радиусной направляющей. Несущая каретка руки также оснащена механизмом наклона на 90°,

управляемого гидравлическим цилиндром, положения которого электрически контролируются двумя датчиками приближения (концевыми выключателями).



*Рисунок 1 – Устройство автоматической смены инструмента (АТС):  
 1 – Рельсовая направляющая каретки, 2 – Радиусная направляющая,  
 3 – Серводвигатель, 4 – Цанга А, 5 – Рука для смены инструмента,  
 6 – Цанга В.*

Рука для смены инструмента представляет собой механическое приспособление, на концах которого установлены цанги держателя инструмента. Перемещается на 180° в обоих направлениях посредством гидравлического цилиндра. Две цанги меняются местами для смены инструмента на шпинделе. Удаление инструмента происходит с помощью гидравлического цилиндра, положения концевых выключателей которого электрически контролируются двумя датчиками положения.

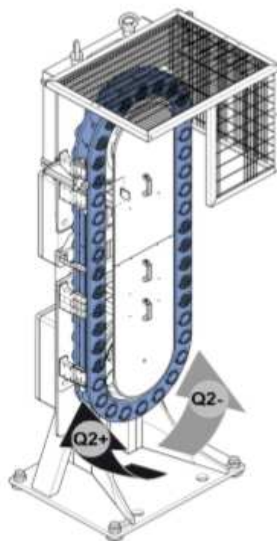
Разблокировка цанги со стороны магазина осуществляется кулачком, управляемым пневматическим цилиндром. Разблокировка цанги со стороны шпинделя обеспечивается механическим устройством, установленным на салазках с рукой.

Специальный датчик не позволяет устройству смены инструмента установить инструмент в гнездо цепного магазина, занятое другим инструментом [1].

Цепной магазин – это устройство, позволяющее осуществлять автоматическую загрузку и выгрузку инструментов и принадлежностей, установленных на ползуне (рис.2). Устройство состоит из следующих узлов: корпус магазина, система контроля состояния ячеек.

Корпус магазина – это сварная конструкция, поддерживающая цепь, которая осуществляет прямолинейное движение благодаря электромеха-

ническому приводу, состоящему из двигателя и редуктора. Энкодер передаёт системе ЧПУ текущее положение узла.



*Рисунок 2 – Цепной магазин:*

*«Q2+» – вращение цепи по «часовой стрелке»,*

*«Q2-» – вращение цепи против «часовой стрелки».*

Зажим инструментов в ячейках цепи происходит под действием пружин, расположенных внутри зажимных устройств ячеек. Разжим производится гидравлическим способом. При поступлении команды на разжим инструмента в цепи рабочее масло от станции направляется на разжимающий цилиндр. Смещаясь, шток цилиндра сжимает пружины зажимного устройства, установленного в ячейке, которая в этот момент находится перед цангой руки. Движение штока управляется электромагнитным клапаном, установленным на корпусе магазина [2].

На станке с АТС смена происходит без остановки производства, что сокращает время, затрачиваемое на смену инструмента. Смена инструмента состоит из поиска инструмента в магазине и загрузки его на каретку. Инструмент идентифицируется по названию, которое может быть числового или буквенно-числового типа.

#### **Недостатки** при отсутствии АТС:

- при смене инструмента в ручном режиме станок необходимо установить в заданную точку (координату), вследствие чего происходит остановка процесса обработки детали;
- перед процессом смены инструмента необходимо очистить рабочее место от смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), стружки;
- при смене инструмента могут возникнуть чрезвычайные ситуации, ввиду отсутствия красной грибовидной аварийной кнопки в шаговой доступности, и по причине тяжёлых инструментов, оператору необходим помощник;
- перед каждым запуском цикла обработки детали необходим замер инструмента и повторная привязка детали.

**Преимущества станка с АТС:**

- смена инструмента возможна в любой точке расположения станка (опускание или поднимание бабки произойдет в автоматическом режиме при выполнении программы смена инструмента);

- оператору нет необходимости выходить из кабины, что делает процесс безопасным;

- помощник не нужен оператору – меньше затрат на оплату труда;

- нет необходимости производить повторную привязку детали (станок знает, где находится склад деталей и каким инструментом необходимо произвести обработку, все размеры инструментов занесены в панель оператора);

- уменьшение времени поиска нужного инструмента.

Смена инструмента включается путём выполнения функции Мб, в соответствии с предварительной идентификацией инструмента, подлежащего смене. Пример: Мб Т\*, где Т и следующая за ним \*(цифра) обозначают из какой ячейки вызывается инструмент [3].

**Выводы:**

1) модернизация технологической оснастки приводит к значительному сокращению времени обработки деталей – полная автоматизация процесса обработки детали;

2) отказ от должности помощника оператора, что влечёт за собой большой экономический эффект;

3) повышение безопасности работ;

4) замена тяжёлой физической работы механизированной.

**Список литературы**

1) Рама. Руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию. Издание: 12/17 REV.00, язык русский – С. 75.

2) Pietro carnaghi. Руководство по техническому обслуживанию. Выпуск 10/18, язык русский – С. 227-230.

3) Siemens. SINUMERIK 840D sl / 828D Основы. Справочник по программированию. Выпуск 09/11, язык русский. – С. 56-57.

УДК 622-1-9

## ОПЫТ ДИАГНОСТИКИ ГОРНЫХ МАШИН, ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ НА ОАО «УРАЛАСБЕСТ»

**Бочков В.С.**, канд. техн. наук, **Мырзабай А.О.**, магистрант  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург

*Представлен опыт применения портативных твердомеров (динамического и ультразвукового) при измерении твёрдости рабочих органов экскаваторов, функционирующих на предприятии «Ураласбест».*

**Ключевые слова:** *техническая диагностика, эксплуатация оборудования, твердомер, экскаватор, рабочий орган, сталь Гадфильда.*

## EXPERIENCE OF DIAGNOSTICS OF MINING MACHINES UNDER CONDITIONS OF OPERATION AT OJSC «URALASBEST»

**Bochkov V.S., Myrzabaj A.O.**

*The experience of using portable hardness testers (dynamic and ultrasonic) when measuring the hardness of the working bodies of excavators working at the Uralasbest enterprise is presented.*

**Keywords:** *technical diagnostics, equipment operation, hardness tester, excavator, working body, Hadfield steel.*

Развитие средств и методов технической диагностики применительно к условиям работы горных машин является важным фактором совершенствования процесса их эксплуатации, обеспечивающим безопасность и возможность предупреждения аварийных режимов работы и внезапных отказов горной техники.

Диагностирование должно стать составной частью технического обслуживания и ремонта горных машин, обеспечивать его проведение по фактическому техническому состоянию машин. Решать следующие основные задачи: определять вид технического состояния оборудования; осуществлять поиск места дефекта; определять причины появления дефектов и давать рекомендаций по их устранению; прогнозировать техническое состояние оборудования; вести контроль правильности действий персонала по эксплуатации оборудования; накапливать статистический материал для совершенствования технологии изготовления и режимов эксплуатации вновь создаваемых машин.

В настоящее время проблемы износостойкости рабочих элементов горных машин выходят на передний план. По исследованиям многих учёных выяснено [1, 2], что в настоящее время из-за процессов изнашивания деталей машин происходит от 80 до 90 % от общего количества всех отказов. В связи с этим на передний план выходит контролирование физико-механических свойств деталей рабочих органов горных машин, как в момент поставки новой машины или детали, так и в процессе эксплуатации. Это обусловлено многими факторами, например, большим разнообразием поставщиков деталей, особенностями эксплуатации оборудования.

Для реализации контроля физико-механических свойств рабочих органов предлагается использовать портативные твердомеры, выпускаемые,

в том числе, и отечественными производителями. Твёрдость выбирается основным параметром контролирования по причине её универсальности, т.к. зная твёрдость можно определить и другие характеристики металла, например, прочность. А, соответственно, значения, полученные при измерении твёрдости можно использовать для анализа текущего состояния детали и прогнозирования дальнейшего поведения детали в процессе эксплуатации. Для экспериментальной проверки целесообразности применения портативных твердомеров были проведены замеры твёрдости рабочих органов механического оборудования, применяющегося на карьере ОАО «Ураласбест» (г. Асбест, добыча асбестосодержащей руды). Твёрдость замерялась двумя видами портативных твердомеров: динамическим (рис. 1) и ультразвуковым (рис. 2). В процессе замеров было определено, что наиболее подходящим твердомером для проведения измерений твёрдости ковшей экскаваторов является динамический твердомер. Это связано с тем, что динамический твердомер в отличие от ультразвукового твердомера менее восприимчив к значительной шероховатости, образующейся в процессе эксплуатации ковшей. В качестве объектов замеров были использованы зубья и ковши карьерных экскаваторов на гусеничном ходу и экскаваторов-драглайнов.



Рис. 1. Динамический твердомер ТКМ-359С



Рис. 2. Ультразвуковой твердомер ТКМ-459С

В момент ожидания транспортного средства для погрузки горной массы были проведены замеры твёрдости зубьев и корпуса ковша экскаватора ЭКГ–10 (производства Ижорского завода), функционирующего в забое. Получены значения твёрдости, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Твёрдость (HRC)	
Трак	57,2
Зуб ковша	57,5
Боковая часть	20

Также на горно-обогатительном комбинате Ураласбест были проведены исследования твёрдости материалов зубьев и ковшей экскаваторов-

драглайнов ЭШ–10.70 (производства Новокраматорского машиностроительного завода), формирующих отвалы. Результаты замеров представлены в таблице 2.

Таблица 2

Твёрдость, HRC	
Зубья ковша	28,7
Нож ковша	37,6
Задняя часть	15,0
Днище ковша	13,5
Крепление	36,2
Пальцы	60,0

Проведённые исследования показывают, что твёрдость в процессе эксплуатации растёт относительно средней исходной твёрдости 17-18 HRC стали 110Г13Л (стали Гадфильда) наиболее часто используемой для изготовления рабочих органов горных машин непосредственно контактирующей с добываемой горной породой.

#### **Выводы**

1. В результате проведённых исследований выявлено, что твердость материала зубьев и корпусов ковшей экскаваторов в процессе эксплуатации увеличилась, а соответственно повысилась износостойкость.

2. Динамический портативный твердомер позволяет получать стабильные и статистически повторяющиеся результаты, даже при значительной шероховатости исследуемого материала.

3. С помощью портативных твердомеров можно прогнозировать усталостные проявления в материалах рабочих органов горных машин, т.к. при накоплении усталости в структуре металла появляются дополнительные несовершенства (дислокации) и твёрдость при этом начинает расти.

4. Портативные твердомеры нужно использовать при проверке качества (исходной твёрдости, которая характеризует качество выплавки стали и термообработки) поставляемых запчастей.

#### **Список литературы**

1. Пенкин, Н.С. Повышение износостойкости горно-обогатительного оборудования / Н.С. Пенкин. – М.: Недра, 1992. – 265 с.
2. Солод, Г.И. Повышение долговечности горных машин / Г.И. Солод, К.И. Шахова, В.И. Русихин. – М.: Машиностроение, 1979. – 184 с.

УДК 621.87

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА НИЗКОМОДУЛЬНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ В КАЧЕСТВЕ ОДНОГО СПОСОБА КОНСТРУКЦИОННОГО ДЕМПФИРОВАНИЯ

Огорелков Д.А.<sup>1,2</sup>, Миронов В.И.<sup>1,2</sup>, Осипов В.И.<sup>1</sup>, Шалаев К.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Уральский Федеральный Университет имени первого президента России Б.Н. Ельцина,

<sup>2</sup>Институт Машиноведения УрО РАН, г. Екатеринбург,

*Проблему повышения долговечности несущих тонкостенных металлоконструкций горнодобывающего и подъемно-транспортного оборудования можно решать с помощью конструкционного демпфирования, которое позволяет повысить логарифмический декремент затухающих колебаний. С помощью вычислительного пакета SolidWorks был проведен численный эксперимент по проверке выдвигаемых положений, а также в работе приводятся результаты экспериментальной проверки модельной конструкции.*

**Ключевые слова:** демпфирование, эксперимент, наполнитель, металлоконструкции, долговечность, декремент.

## EXPERIMENTAL VERIFICATION OF A LOW-MODULUS FILLER AS A ONE METHOD OF DAMPING OF THE STRUCTURE

Ogorelkov D.A.<sup>1,2</sup>, Mironov V.I.<sup>1,2</sup>, Osipov V.I.<sup>1</sup>, Shalaev K.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, Ekaterinburg

<sup>2</sup> Institute of Engineering Science, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg

*The problem of increasing the durability of the supporting thin-walled metal structures of mining and handling equipment can be solved with the help of structural damping, which can increase the logarithmic decrement of damped oscillations. Using the SolidWorks computing package, a numerical experiment was carried out to verify the positions put forward, and the results of an experimental verification.*

**Keywords:** damping, experiment, filler, metal structures, durability, decrement.

В горнодобывающем и подъемно-транспортном оборудовании широко используются тонкостенные металлоконструкции. В горнодобывающем оборудовании – это стрелы шагающих экскаваторов, а в подъемно-транспортном оборудовании – пролетные и концевые балки кранов мостового типа, которые являются тонкостенными металлоконструкциями замкнутого профиля. Данные элементы оборудования испытывают значительные динамические нагрузки, снижающие их долговечность и надежность. Одним из способов снижения колебательных нагрузок является конструкционное демпфирование.

Проблему повышения долговечности за счет снижения динамики машин решают путем установки частотных преобразователей для мостовых кранов [1-2], использования активного демпфирования металлоконструкции [3] и другими способами. Большинство гасителей колебаний представляют собой сложную и дорогостоящую электро-, гидромеханическую систему.

Рассматривается относительно простое решение повышения долговечности тонкостенных металлоконструкций замкнутого профиля путем



демпфирования низко модульным пеноматериалом [4]. Проведенное компьютерное моделирование в вычислительном пакете методом конечных элементов выявило положительный демпфирующий эффект [5]. Дальнейший расчет на усталость [6] показал увеличение долговечности при изменении логарифмического декремента затухающих колебаний  $\delta$  с 0,05 до 0,2 на 12-13%. Однако данные работы [4-6], основываясь только на аналитических вычислениях и методе конечных элементов, имели только оценочное значение, поэтому полученные результаты требуют прямой экспериментальной проверки.

В докладе обсуждаются результаты эксперимента и дается оценка целесообразности использования низко модульного наполнителя для конструкционного демпфирования тонкостенных конструкций.

### Вычислительные эксперименты

Частотный анализ вычислительных экспериментов выполнялся в среде SolidWorks Simulation [7]. Так как цель работы – это экспериментальная проверка ранее выдвигаемых теоретических положений, то в пакете исследовалась не реальная пролетная балка мостового крана, как в [4-6], а только консольно-закрепленная балочка – модель реальной консольной балки.

Геометрические характеристики: размеры между стенками 48,2x24,2мм, длина консоли 600 мм. Толщина стенки  $s$  сечения варьировалась в интервале  $0,2 \div 1,5$  мм, что соответствует соотношениям толщины стенки к общим габаритным размерам модельной и реальной конструкции. Материал балочки СтЗсп в SolidWorks был заменен на ее немецкий аналог DIN 1.0116 (S235J2G3). Способ закрепления: балочка была закреплена как консоль с жесткой заделкой.

Полученные значения собственных частот  $\omega$  пустой и запененной балки, при разной толщине стенки  $s$ , в вертикальной и горизонтальной плоскостях представлены в табл. 1, что совпадает с аналитическими решениями [8].

Табл. 1. Собственные частоты  $\omega$  при разной толщине стенки  $s$ .

Толщина стенки $s$	Горизонтальная плоскость		Вертикальная плоскость	
	Пустая	Запененная	Пустая	Запененная
0,2	78,913	77,390	139,560	136,660
0,6	80,334	79,828	140,940	139,960
0,8	81,011	80,621	141,630	140,870
1,2	82,402	82,146	143,000	142,500
1,5	83,451	83,254	144,030	143,630

### Расчет логарифмического декремента затухающих колебаний

Ранее в работе [9] была выведена формула (1), позволяющая определить декремент затухания  $\delta_2$  вычислительным способом, зная декремент затухания полой конструкции, пренебрегая весом наполнителя в виду его

малой плотности по отношению к материалу стальной конструкции (плотность используемой в эксперименте монтажной пены  $\rho \approx 25 \div 30 \text{ кг/м}^3$ ):

$$\delta_2 = \frac{1}{\omega_2} \sqrt{(\delta_1 \omega_1)^2 + \omega_1^2 - \omega_2^2}, \quad (1)$$

где  $\omega_1$  – собственная частота пустой балки,  $\omega_2$  – собственная частота запененной, а  $\delta_1$  – логарифмический декремент затухающих колебаний полой конструкции без наполнителя. Значения данного декремента обычно берут из испытаний конструкции в целом. Например, Рекомендуемый интервал значения логарифмического декремента колебаний для мостовых кранов коробчатого сечения  $\delta=0,05 \div 0,12$  [10].

На графиках (рис. 1), построенных по формуле (1), представлена зависимость декремента запененной балки  $\delta_2$  от толщины стенки  $s$  в вертикальной (рис. 1,а) и горизонтальной (рис. 1,б) плоскостях при разных значениях декремента пустой балки  $\delta_1$  (при  $\delta_1 = 0,05$  и  $\delta_1 = 0,08$ ). Как видно по графикам, при увеличении толщины стенки эффективность повышения логарифмического декремента снижается.

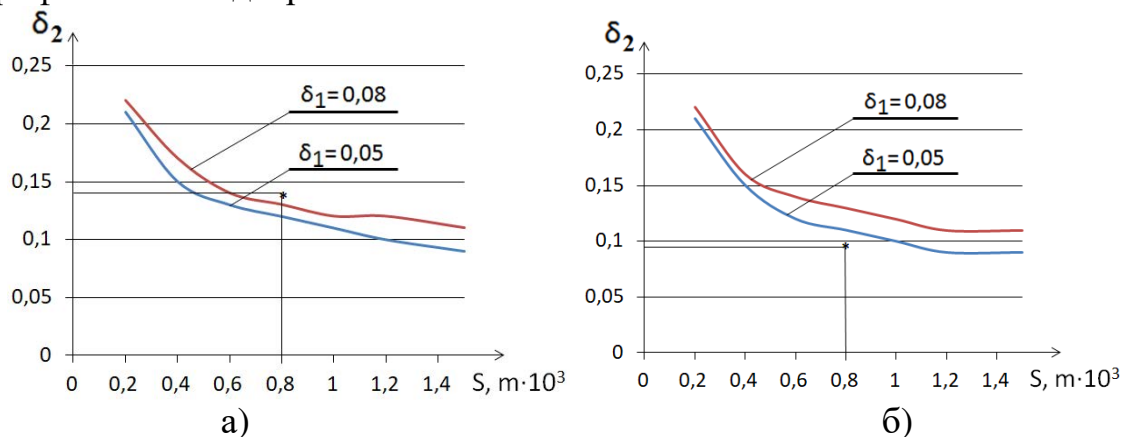


Рис. 1 – Зависимость логарифмического декремента  $\delta_2$  балки с наполнителем от толщины стенки  $s$  при  $\delta_1=0,05$  и  $\delta_1=0,08$   
а – вертикальная плоскость; б – горизонтальная плоскость.

### Испытания консольной балки

Цель испытаний – построение виброграмм пустой и заполненной балки для частичной проверки прогнозов численных экспериментов. Объектом испытаний была консольная балка с толщиной стенки  $s=0,8\text{мм}$ , а остальные размеры балки как в представленном выше описании вычислительного эксперимента.

Техника и средства эксперимента выбирались из условия минимальных затрат на его проведение. В пробном испытании с использованием фоточувствительного датчика и лазера виброграмму построить не удалось, поэтому исходя из имеющихся ресурсов, была использована скоростная записывающая камера с частотой съемки 960 кадров в секунду. В качестве наполнителя использовалась монтажная пена марки Kudo Trend Window, время затвердевания после эксперимента двое суток. Испытания были проведены в лаборатории технической диагностики ИМАШ УрО РАН.

### Обсуждение результатов эксперимента

Результаты обработки экспериментов в вертикальной и горизонтальной плоскостях для пустой и запененной балки представлены в табл. 2. Также были высчитаны по полученным данным число значимых циклов  $N$  и время релаксации металлоконструкции  $T_p$ . Под числом значимых циклов понимаем число циклов пока отношение изначальной амплитуды к последней не достигнет 10%, а время релаксации – время пока активны значимые циклы. Число значимых циклов рассчитывалось как  $N = -\ln(0,1)/\delta$ . На рис. 1 отмечены «\*» экспериментальные значения запененной балки в вертикальной (рис. 1,а) и горизонтальной (рис. 1,б) плоскостях.

Табл. 2. Результаты обработки виброграмм.

	Горизонтальная плоскость		Вертикальная плоскость	
	Пустая	Запененная	Пустая	Запененная
Декремент $\delta$	0,08	0,095	0,08	0,14
Период колебаний $T$ , с	0,01875	0,021875	0,01042	0,01354
Коэффициент затухания $n$	4,266	4,34	7,68	10,34
Частота $\omega$ , Гц	53,33	45,71	96	73,85
Число циклов $N$ , шт	29	24	29	16
Время релаксации $T_p$ , с	0,54	0,53	0,3	0,22

### Выводы

Доказана целесообразность использования низкомодульных наполнителей в качестве способа конструкционного демпфирования, которое может использоваться при проектировании нового и модернизации существующего горнодобывающего и подъемно-транспортного оборудования. Число значимых циклов колебаний сократилось с 29 до 16 циклов, что следует считать существенным повышением демпфирующих свойств балки. Полученное при обработке виброграммы значение декремента 0,14 близко к расчетному значению 0,13, которое прогнозируется при использовании частот, полученных из SolidWorks.

### Список литературы

1. Савченко А.В., Шмат Р.А., Некрасов А.С. Анализ современных автоматизированных электроприводов для подъемно-транспортных механизмов / Научный альманах. – 2016. – № 6-2 (19). – С. 157-160. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26476508> (дата обращения 12.02.2020).
2. Мещеряков В.Н., Колмыков В.В., Мигунов Д.В. Реализация устройства демпфирования колебаний груза, перемещаемого мостовыми кранами на базе частотного преобразователя sinamics S120 / Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2016. – № 3. – С. 48-54. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26131331> (дата обращения 12.02.2020).
3. Гришин Д.К., Матвеев В.М. Оценка эффективности активного демпфирования колебаний металлоконструкций экскаваторов и стреловых кранов / Наука и образование:

- научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2013. – № 11. – С. 69-78. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21040760> (дата обращения 12.02.2020).
4. Миронов В.И. Об одном способе конструкционного демпфирования / В.И. Миронов, Д.А. Огорелков, В.И. Осипов, Н.И. Полежаев // В сборнике: Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности сборник трудов XV Международной научно-технической конференции. – Екатеринбург, 2017. – С. 324-326. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29339321>.
5. Method of Increasing Durability of Thin-walled Structural Elements / V.I. Mironov, O.A. Lukashuk, D.A. Ogorelkov // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Volume 129. – DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201712901024>.
6. Influence of structural damping on the durability of a crane metal construction / V.I. Mironov, D.A. Ogorelkov, V. V. Yakovlev // AIP Conference Proceedings. – 2018. – V. 2053. – <https://doi.org/10.1063/1.5084498>.
7. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulatoin / А.А. Алямовский. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 464 с., ил. (Серия «Проектирование»). ISBN 978-5-94074-586-0.
8. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории упругих колебаний / Я.Г. Пановко. – М.: Гос.научно-тех.издательство машиностр.лит-ры, 1957. – 336 с.
9. Two Approaches to the Problem of High-cycle Fatigue of Materials and Structures / Vladimir Mironov, Olga Lukashuk, Dmitriy Ogorelkov // MATEC Web of Conferences. – 2019. – Volume 253. – DOI: [10.1051/matecconf/201925301004](https://doi.org/10.1051/matecconf/201925301004).
10. Соколов С.А. Строительная механика и металлические конструкции машин / С.А.Соколов. – СПб: Политехника, 2011. – 450с.

**РЕМОНТ, СЕРВИСНОЕ  
ОБСЛУЖИВАНИЕ  
И ДИАГНОСТИКА ГОРНОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ**

*Чтобы о́жил экскаватор,  
Чтоб дробилка ожилá,  
Должен мастер-реставратор  
В их наведаться тела!*

Доц. П.А. Жиганов

УДК 622.271.022

## АНАЛИЗ СТАТИСТИКИ ОТКАЗОВ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

А. А. Альшанская<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

*Приведены результаты анализа статистики отказов карьерных экскаваторов. Рассмотрены некоторые закономерности формирования структуры отказов механического оборудования экскаваторов, указаны наиболее часто отказывающиеся узлы и элементы рабочего оборудования экскаваторов. Анализ статистики показал, что структура распределения отказов по подсистемам экскаватора фактически не изменяется уже в течение 30 лет и имеет общую картину на горнодобывающих предприятиях страны, это свидетельствует о конструктивных недоработках механической части экскаваторов, в частности рабочего оборудования*

**Ключевые слова:** статистика отказов, вид отказа, карьерные экскаваторы, надежность.

## ANALYSIS OF QUARRY EXCAVATOR FAILURE STATISTICS

Alshanskaya A.A.

*The results of analyzing the statistics of failures of quarry excavators are presented. Some regularities of the formation of the structure of failures of mechanical equipment of excavators are considered, the most frequently failing units and elements of working equipment of excavators are indicated. The analysis of statistics showed that the structure of the distribution of failures by excavator subsystems has not actually changed for 30 years and has a General picture in the country's mining enterprises, this indicates structural defects in the mechanical part of excavators, in particular working equipment.*

**Keywords:** failure statistics, type of failure, quarry excavators, reliability.

На горнодобывающих предприятиях России и стран СНГ основным выемочно-погрузочным оборудованием являются одноковшовые гусеничные экскаваторы с электромеханическим приводом (ЭКГ) [1, 2].

Для оценки надежности карьерных экскаваторов был проведен анализ данных агрегатных журналов парка экскаваторов на разрезах «Бородинский» и «Березовский» АО «СУЭК» в период с 2014 по 2019 год, объемом 105 машино-лет.

Предварительная обработка информации включала её систематизацию, упорядочивание во времени, сортировку по типу отказов, удаление искажённых данных.

В статистике внеплановых простоев экскаваторного парка принято разделять отказы по основным системам: механическая и электрическая.

На рисунке 1 представлена диаграмма распределения времени простоев экскаваторов в виду отказов.

Так как затраты времени (около 12 тысяч часов) на устранение отказов механической системы экскаваторов занимают большую часть из общего числа, то в качестве объекта исследования для дальнейшего рассмотрения были выбраны отказы этой системы.

Всего в промежуток 2014-2019 гг. было зафиксировано 637 отказов механической части экскаваторов. Из них 74 отказа были в механизмах, относящихся к ходовой тележке, 164 отказа принадлежит отказам элементов поворотной платформы и 399 отказов элементов рабочих оборудования.

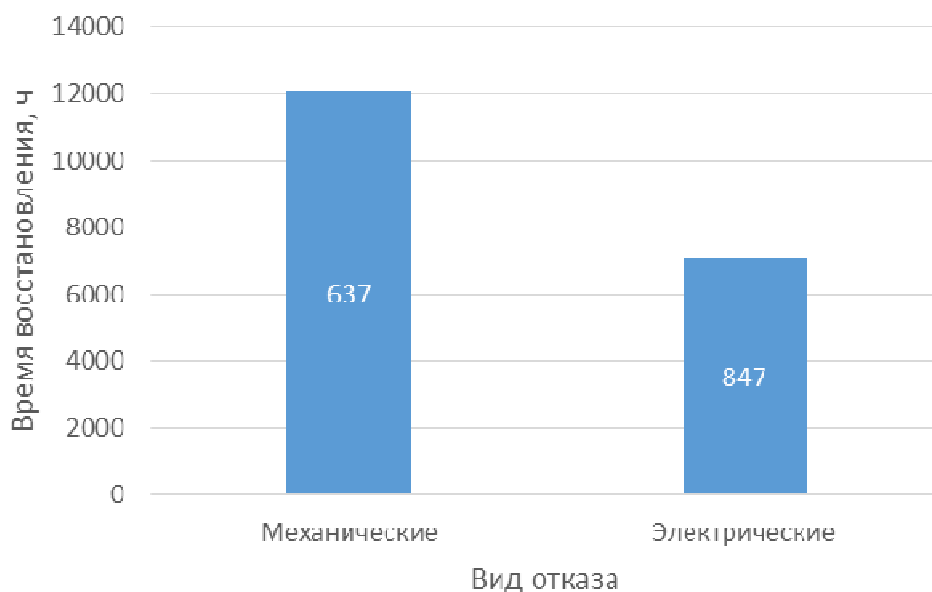


Рис. 1. Распределение времени и числа отказов экскаваторного парка по причинам их возникновения за 2014-2019 гг.

На рис. 2 представлена структура распределения отказов элементов подсистем экскаватора, согласно которому, отказы элементов рабочего оборудования занимают больше половины от общего числа отказов, приходящихся на весь парк экскаваторов ЭКГ.



Рис. 2. Соотношение отказов элементов подсистем за период 2014 - 1 кв. 2019 гг.

В табл. 1 показано количество отказов элементов металлоконструкций рабочего оборудования экскаваторов ЭКГ, средняя наработка на отказ и общее время восстановления после отказа за рассматриваемый период.

Из табл. 1 видно, что наиболее часто отказывающим узлом рабочего оборудования экскаваторов по парку в целом, является седловой подшипник. На втором и третьем месте находятся отказы металлоконструкции стрелы и рукояти.

Анализ отказов механического оборудования и металлоконструкций экскаваторов разрезов Назаровский и Бородинский ПО «Красноярскуголь» проводился в [3]. Некоторые из рассмотренных в работе [3] экскаваторы до сих пор находятся в эксплуатации: это ЭКГ-4У (зав. №201), ЭКГ-12,5 (зав.

№ 1) и ЭКГ-12,5 (зав. № 2). Так как парк одноковшовых экскаваторов и условия работы, отраженные в работе [3], похожи, то в нашей работе предпринята попытка сравнения результатов анализа надежности парка экскаваторов, приведенных в работе [3], и нами, согласно которому можно сделать вывод, что количество отказов и аварий оборудования остались на том же уровне, что и 30 лет назад. Сравнение также показывает, что, доли отказов подсистем остались примерно на том же уровне - около 40 % отказов электрической подсистемы и около 60 % отказов механической подсистемы, при этом особое значение носят отказы рабочего оборудования экскаваторов.

Табл. 1 – Показатели надежности элементов рабочего оборудования по парку экскаваторов

Узел отказа	Количество отказов	Средняя наработка на отказ, сут.	Среднее время устранения отказов, ч.
Седловой подшипник	43	172,8	21,9 / 943,34
Ковш	33	649,4	5,1 / 168,12
Стрела	4	834	132,5 / 529,87
Рукоять	8	1084,5	64,9 / 519,45
Двуногая стойка и подкоч	7	494,3	16,5 / 115,65
Механизм открывания днища ковша	17	394,1	3,7 / 62,19
<b>Итого</b>	<b>95</b>	<b>647</b>	<b>24,6 / 2 338,62</b>

Аналогичные исследования структуры надежности экскаваторов проводились многими исследователями, так в [1, 4-8] говорится, что в большинстве случаев отказы механического оборудования преобладают и составляют 50—86 % от их общего количества. В механической части преобладают отказы рабочего оборудования и составляют от 30 до 70 %.

**Выводы:**

1. Анализ статистики отказов карьерных электромеханических экскаваторов позволил определить долю отказов основных механизмов экскаваторов. Наибольшее количество отказов приходится на рабочее оборудование (63 %), при этом наиболее часто отказывающимися элементами является седловой подшипник, стрела и рукоять экскаваторов.

2. Структура распределения отказов по подсистемам экскаватора фактически не изменяется уже в течении 30 лет и имеет общую картину на горнодобывающих предприятиях страны, это свидетельствует о конструктивных недоработках либо системных проблемах процесса проектирова-



ния механической части экскаваторов, в частности, рабочего оборудования.

### **Список литературы**

1. Иванова С.А., Асонов П.В., Иванов С.Л., Кувшинкин С.Ю. Анализ структуры и надежности современного парка карьерных экскаваторов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 7. С. 51–57
2. Трубецкой К.Н., Потапов М.Г., Веницкий К.Е., Мельников Н.Н. и др. Справочник. Открытые горные работы. – Москва: Изд-во «Горное бюро». 1994. – 590 с.
3. Москвичев В.В., Доронин С.В., и др. Анализ отказов механического оборудования и металлоконструкций экскаваторов. Препринт №7. – Красноярск, ИЦ СО АН СССР, 1989. – 33 с.
4. 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. – С. 212-218.
5. Болотнев А.Ю. Повышение надежности базовых узлов металлоконструкций карьерных экскаваторов в условиях Севера : диссертация ... кандидата технических наук : 05.05.06 / Болотнев Александр Юрьевич; [Место защиты: Иркут. гос. техн. ун-т]. - Иркутск, 2009. - 115 с.
6. Великанов В.С., Панфилова О.Р., Усов И.Г. Анализ показателей долговечности рукояти карьерного экскаватора // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2018. Т. 16. № 4. С. 13-20.
7. Лобура И.А., Шаулев Н.М., Захаров А.Г. Об эксплуатационной надежности электро-механических систем карьерных гусеничных экскаваторов // В сборнике: Энергетика и энергосбережение: теория и практика материалы III Всероссийской научно-практической конференции. 2017. С. 312.
8. Болотнев А.Ю., Унагаев Е.И., Авдеев А.Н. Исследование распределения напряжений в рабочих узлах карьерного экскаватора ЭКГ-12,5 // Вестник иркутского государственного технического университета. 2011. № 12. С 92-95.

УДК 621.43.068

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ГОРНЫХ МАШИН СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ СМАЗКИ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСМИССИИ ПРИ ЕЕ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ

Князькина В.И.<sup>1</sup>, Сафрончук К.А.<sup>1</sup>, Иванов С.Л.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский Горный университет, г. Санкт-Петербург

*В рамках стратегии технического обслуживания и ремонта по фактическому состоянию, осуществляя технологию регламентных работ по техническому обслуживанию горной техники и выявлению дефектов ресурсопределяющих сопряжений возможно осуществлять эффективную очистку и восстановление свойств, как масел и смазок, так и рабочих жидкостей гидравлических экскаваторов. Для чего целесообразно применение регенерационных установок и бортовых системам диагностики, позволяющие фиксировать сигналы акустико-эмиссионного диапазона для оценки состояния систем карьерного экскаваторов при его работе.*

**Ключевые слова:** карьерный экскаватор, трансмиссия, ресурсопределяющее сопряжение, износ, рабочая жидкость, смазка, пара трения, акустический сигнал D, бортовые системы диагностики.

## IMPROVING THE RELIABILITY OF MINING MACHINES BY IMPROVING THE LUBRICATION OF TRANSMISSION ELEMENTS UNDER ITS MAINTENANCE

Knyazkina V.I., Safronchuk K. A., Ivanov S.L.

*Within the framework of the strategy of maintenance and repair on the actual state, carrying out the technology of routine maintenance of mining equipment and identifying defects of resource-determining conjugations it is possible to carry out effective cleaning and restoration of properties of both oils and greases, and working fluids of hydraulic excavators. For this purpose, it is expedient to use regeneration units and on-board diagnostic systems, which allow fixing acoustic-emission range signals to assess the state of systems of mining excavators during its operation.*

**Key words:** mining excavator, transmission, resource-determining coupling, wear, working fluid, lubricant, friction steam, acoustic signal D, on-board diagnostic systems.

Поступательное развитие и минерально-сырьевой отрасли, а вместе с ней и комплексов горных машин, являющихся ее основной движущей силой, ведет к повышению их единичной мощности, совершенствованию конструкции, систем их диагностики и технического обслуживания в процессе эксплуатации для сведения к минимуму рисков отказов этих машин и недопущению потерь вызванных остановами такого оборудования. Экстремальные условия эксплуатации испытывают на себе горные машины, работающие в условиях открытых разработок: экскаваторы, буровые установки и станки, карьерное дробильно-сортировочное оборудование, горно-транспортные машины. Здесь значительные динамические и статические нагрузки, запыленность, наличие негабарита, сложные горно-геологические условия эксплуатации сочетаются и с неблагоприятными погодными условиями, их сезонностью. Как правило, эти мощные машины не перемещают на значительные расстояния и, следовательно, производство ремонтных работ в рамках технического обслуживания, работ, связанных с дозаправкой или сменой рабочих жидкостей или лубрикаторов

механических и гидравлических трансмиссий, проводят непосредственно на месте эксплуатации таких машин [3]. Вместе с тем, отказ любой машины в технологической цепочке этого оборудования, влечет за собой сбой в работе всей технологической цепи. Таким образом, сложные условия эксплуатации, трудоемкость и некомфортность проведения работ по техническому обслуживанию и ремонту способствуют интенсификации деградиционных процессов и, как следствие, ведут к повышению рисков аварийных отказов оборудования, росту трудоемкости ремонтных работ и повышению затрат на реализацию мер их предупреждения при неизменном подходе к апокатастасису (восстановлению) технического состояния в рамках традиционного технического обслуживания, что требует изменения отношения к выбору стратегии технического обслуживания, как фактору антидеградационного характера [1].

Как показал анализ опыта эксплуатации, основной причиной отказа карьерных экскаваторов является повышенный износ ресурсопределяющих трибосопряжений трансмиссий. Не своевременная замена или регенерация смазочных рабочих сред ведет к интенсификации износных и коррозионных процессов: насосов, гидродвигателей, цилиндров и их элементов, снижению объемного КПД гидросистем из-за износа клапанов, дросселей, золотниковых пар, подшипников, зубчатых передач, уплотнений, шарниров; а ранняя замена приводит к серьезным материальным потерям [2].

Для обеспечения нормальной работы трансмиссий экскаваторов, в тяжелых условиях их эксплуатации смазка должна гарантировать разделение контактирующих поверхностей, предотвращать задиры и заедание, снижать интенсивность износа. Выбор соответствующего типа смазки для карьерного экскаватора и отдельных его механизмов имеет решающее значение для рабочего состояния машины, но не менее важным является также выбор системы смазки [4]. Инновационным решением в этом вопросе является обеспечение доставки лубриката в трибосопряжение по каналам системы смазки, по его состоянию, определяемому величиной акустического сигнала трения, контролируемого в диапазоне ультразвуковых частот.

В рамках стратегии технического обслуживания и ремонта по фактическому состоянию, осуществляя технологию регламентных работ по техническому обслуживанию горной техники и выявлению дефектов ресурсопределяющих сопряжений возможно осуществлять эффективную очистку и восстановление свойств, как масел и смазок, так и рабочих жидкостей гидравлических экскаваторов. Для чего целесообразно применение регенерационных установок и бортовых системам диагностики, позволяющие фиксировать сигналы акустико-эмиссионного диапазона для оценки состояния систем карьерных экскаваторов при его работе.

При оценке смазывающей способности масел необходимо достоверно определять характер трения в контакте. Величина среднего значения уровня акустического сигнала  $D$ , фиксируемая в ультразвуковом диапазоне частот в полной мере позволяет оценить характер трения в кинематической паре. Эксперименты проводились на машине трения типа УМТ в смазочной среде при вращении верхнего образца по неподвижному

нижнему образцу при заданной нагрузке. Угловые скорости и давление в паре детерминировано изменялись при параллельном измерении показателя  $D$  для получения общей картины о закономерностях изменения характера трения в заданных условиях для ряда масел.

В ходе эксперимента были заданы шесть уровней угловых скоростей при пяти уровнях давления в паре трения. Обработанные результаты экспериментов представлены на рис. 1 для базового масла И-20 [4]. Из полученных результатов видно, что имеется устойчивая тенденция возрастания величины показателя  $D$  при росте угловой скорости. По стабильности величины этого сигнала при неизменной скорости и постоянном давлении можно судить о характере трения в паре, соответственно – жидкостном, смешанном или сухом. Жидкостное трение характеризуется малой величиной сигнала и его стабильностью и реализуется при малых давлениях и не высоких скоростях. Износ при этом виде трения минимален. Различие лишь интенсивности нарастания величины показателя  $D$ . Однако, переход к сухому трению при высоких скоростях происходит уже при небольших значениях давления, при этом при малых скоростях в паре трения сохраняются нормальные условия даже при значительных давлениях в контакте.

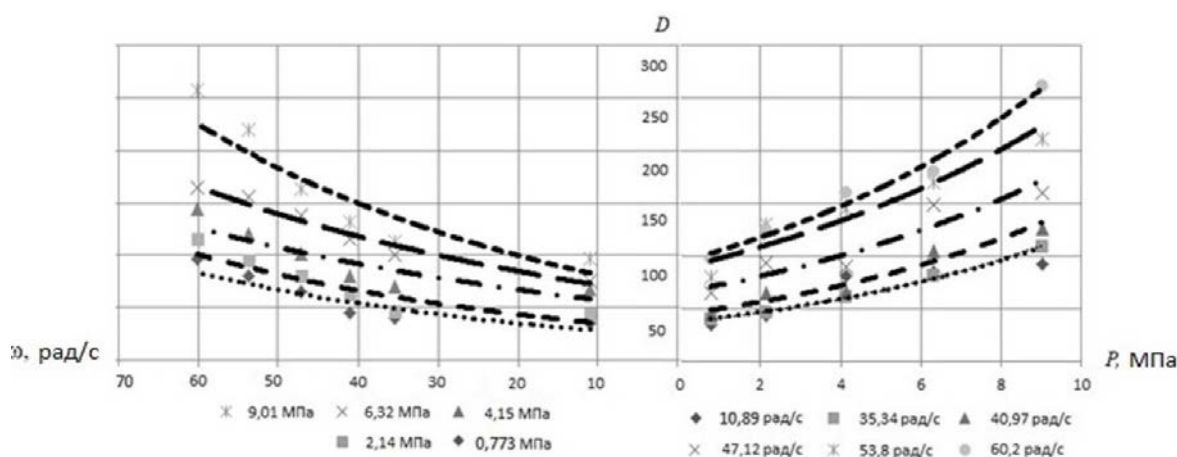


Рис. 1. Изменение величины комплексного показателя  $D$  сигнала внешнего трения для базового масла И-20 от угловой скорости и давления в паре трения

Аналогичные эксперименты проводились для масел И-20 с присадками, 75w, 85W и 90. Для этих масел тенденция изменения показателя  $D$  была аналогичной, а отличие имело место лишь в соответствующих значениях, при этом ожидаемо, масла с большей вязкостью и без присадок имели меньшие значения измеряемого показателя. Введение в масла металлической меди в виде тонкодисперсного порошка также резко снижало значения показателя  $D$  при прочих равных условиях [4]. Наличие абразива и засоренность масла также легко фиксируется при таком способе диагностики, вызывая увеличение уровня акустического сигнала, фиксируемого как показатель  $D$ . Таким образом, экспериментально установлена возможность фиксировать, посредством показателя  $D$ , деградационные процессы в динамике по величине и характеру изменения акустического сигнала в уль-

тразвуковой полосе частот от процесса трения в контролируемых ресурсоопределяющих подвижных соединениях для выявления на ранней стадии дефектов и повреждений в трансмиссиях гидравлических и электрических карьерных экскаваторах, оценивать состояние смазочных и рабочих сред ресурсоопределяющих узлов трения и, при включении подобных датчиков в бортовые системы диагностики, управлять системами смазки и их регенерации.

### **Выводы**

Данное устройство автономно, что служит преимуществом для использования на карьерной горнодобывающей технике и не требует больших затрат времени на настройку. Кроме того, может успешно применяться при проведении технического обслуживания и ремонта при проведении как регламентных, так и сезонных работ. Предложенный подход обеспечивает проведение работ по замене и очистки масел в безопасном режиме, снижает риски разливов нефтепродуктов и аварийных отказов карьерных экскаваторов.

### **Список литературы**

1. Оценка факторов влияния на выбор стратегии технического обслуживания экскаваторов / Пумпур Е.В. Князькина В.И. Сафрончук К.А. Иванов С.Л. //Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – №12 (специальный выпуск 41). – 19 с. – М.: Издательство «Горная книга»
2. Kuvshinkin S.U., Zvonarev I.E., Ivanova P.V., Relationship of dynamic properties of mine excavator hoisting mechanism versus design parameters of operating equipment // Journal of Physics: Conference Series, 2018. 1118(1), 012054
3. К вопросу оценки влияния квалификации машиниста на техническое состояние экскаватора / Емельянов А.А., Иванов С.Л., Шибанов Д.А. //Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) 2017, S38, С.442-453
4. Knyazkina V I About possibility of immediate evaluation of technical condition of mining equipment using signal value of acoustic emission friction // V. I. Knyazkina, K. A. Safronchuk and S. L. Ivanov / IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 560 (2019) 012068 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/560/1/012068

УДК 621.785.542

## МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОССТАНОВЛЕННОЙ ДЕТАЛИ КАРЬЕРНОГО ОДНОКОВШОВОГО ЭКСКАВАТОРА ПОСЛЕ УПРОЧНЕНИЯ

Левашова Е. Е., старший преподаватель, аспирант  
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,  
г. Кемерово

*В статье представлены результаты металлографических исследований восстановленной детали вращения наплавкой, изготовленной из стали 30ХГСА в исходном состоянии наплавки после электродугового термического упрочнения, после закалки и комбинированного сочетания закалки и электродугового термического упрочнения.*

**Ключевые слова:** *поверхностное упрочнение, закалка, металлографические исследования.*

## METALLOGRAPHY CHARACTERISTICS OF THE RESTORED PART OF THE MOUNTAIN EQUIPMENT AFTER STRENGTHENING

Levashova E. E.

*The article presents the results of metallographic research of reconstructed rotational parts by surfacing made of 30HGSA steel in the initial state of surfacing after electric arc hardening, after quenching and a combined combination of hardening and electric arc hardening.*

**Keywords:** *surface hardening, harding, metallographic research.*

Основными методами повышения механических свойств и создания определенной структуры, восстановленных деталей горного оборудования является термическая обработка. Наиболее распространенные методы — это обработка лазером, электроискровое легирование и поверхностная закалка.

В настоящее время изучаются такие способы поверхностной термической обработки как плазменной дугой [1-6], обработка лазером [7,8], закалка с нагревом пламенем газокислородной горелкой [9-11].

В статье рассмотрен способ повышения механических свойств деталей горных машин путем их закалки и электродугового упрочнения восстановленного поверхностного слоя наплавкой. В работе представлен алгоритм восстановления быстроизнашиваемых деталей карьерного экскаватора [12]. Сущность предлагаемого способа заключается в восстановлении геометрических размеров детали порошковой проволокой с гарантированной твердостью 50-55 HRC и повышение значений до 60 HRC за счет электродугового термического упрочнения (ЭТУ), при котором применяется оборудование доступное на каждом горном предприятии, а именно горелка с вольфрамовым электродом, защитный газ и охлаждением водой. В качестве защитного газа применяется аргон, обладающий сравнительно не высоким потенциалом ионизации, применение диоксида углерода не рассматривается, вследствие повышенной склонности к трещинообразованию слоев, упрочненных таким способом.

Целью работы является сравнительный анализ металлографических исследований упрочненной поверхности такими способами как, ЭТУ, закалка и комбинированное воздействие на наплавленный слой.

Объект исследования – наплавленные образцы в два слоя в среде защитного газа (CO<sub>2</sub>) порошковой проволокой 35Х5ГНФВМ на подложку из стали 30ХГСА, диаметром 200 мм, режимы наплавки: I<sub>св</sub>=170-250А, U=15-18В. Для наплавки использовали сварочное оборудование КЕМРПИ FastMig MXF65. Перед наплавкой выполнили предварительный подогрев детали (до 300°С), для предотвращения образования холодных трещин, после наплавки проводили отпуск при температуре 250°С с охлаждением в печи.

План исследований состоял в анализе изменения структуры наплавленного слоя, наплавленного слоя после ЭТУ, наплавленного слоя после закалки, наплавленного слоя после комбинированного воздействия закалкой и ЭТУ.

В качестве присадочного материала ЭТУ применяли вольфрамовый электрод на прямой полярности, защитный газ – аргон, охлаждающая жидкость – вода, шаг ЭТУ составлял 1 мм. Режим ЭТУ представлен в таблице 1. Исходный наплавленный слой был подвергнут закалке при T= 880-900°С на протяжении 120 мин с охлаждением в масле.

Таблица 1 - Режим ЭТУ

Сила тока, А	Плотность тока, А/мм <sup>2</sup>	Напряжение на дуге, В	Погонная энергия, КДж/мм	Скорость вращения детали, м/с	Угол заточки электрода, °
70-80	22,3	22,5-22,8	0,03	0,02	60

Металлографические исследования проводили на микроскопе AxioObser при увеличении 100, 200, 500 крат.

При микроскопическом исследовании определяли структурные составляющие – размер, форма, ориентация, а также тип и характер межзеренных границ. Схема анализа структуры представлена на рис. 1.

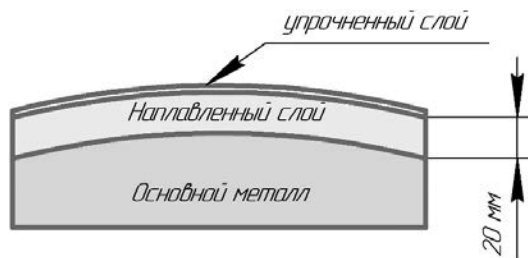


Рис. 1 – Схема образца для металлографических исследований

Выявлена глубина термического упрочнения у образца после электродугового термического упрочнения – 1 мм, после комбинированного воздействия закалки и электродугового термического упрочнения – 0,45 мм. Структура мартенситная дендритная, зерна направлены к источнику тепла. Структура наплавки не подвергшейся термическому упрочнению

мелкозернистая. После закалки структура стала более округлой формы и большего размера (рис. 2).

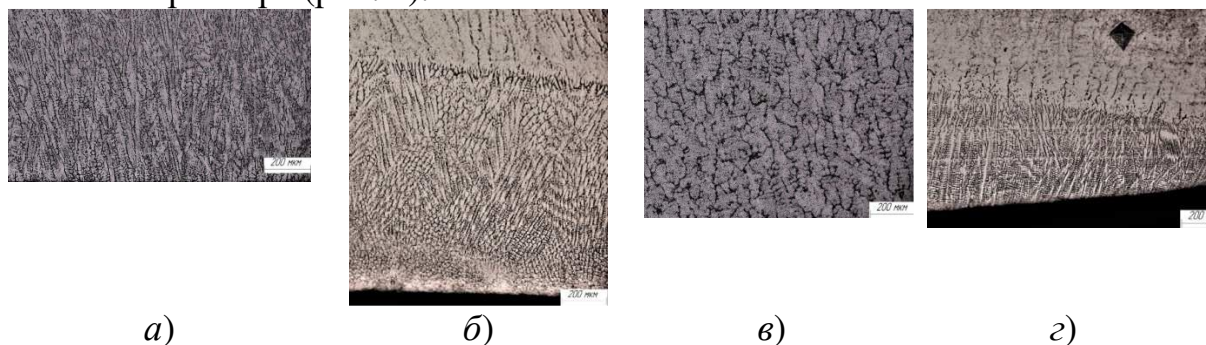


Рис. 2 – Микроструктура поверхностного слоя после электродугового упрочнения образце 1– а, образце 2 – б, образце 3 – в, образце 4– з

### Вывод:

При металлографическом исследовании установлено, что при разных способах упрочнения получается структура, отличающаяся баллом и формой зерна. Электродуговое термическое упрочнение приводит к образованию мелкого зерна, что благоприятно влияет на механические свойства, в том числе препятствует распространению микротрещин.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда Содействия Инновациям, договор №12838ГУ/2018.*

### Список литературы

1. Малаховский, В. А. Плазменные процессы в сварочном производстве: учеб. пособие / В. А. Малаховский. – М.: Высш. шк., 1988. – 72 с.
2. Коротков, В. А. Восстановление и упрочнение деталей и инструмента плазменными технологиями / В. А. Коротков, А. А. Бердников, И. А. Толстов. – Челябинск: Металл, 1993. – 144 с.
3. Плазменное поверхностное упрочнение / Л. К. Лещинский, С. С. Самотугин, И. И. Пирч, В. И. Комар. – Киев: Тэхника, 1990. – 109 с.
4. Устройство плазменной закалки изделий из стали и чугуна в автоматическом и ручном режиме двухдуговым плазмотроном: пат. на полезную модель RUS № 95665 / Е. Н. Сафонов, В. С. Демин, И. С. Дружинин, Л. В. Чадин. – Заявл. 29.12.2009; опубл. 10.07.2010. Бюл. № 19.
5. Домбровский, Ю. М. Обработка стали воздушно-плазменной дугой со сканированием / Ю. М. Домбровский, А. В. Бровер // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1999. – № 1. – С. 10–13.
6. Упрочнение чугунных валков методом плазменной закалки / А. А. Бердников, В. С. Демин, Е. Л. Серебрякова [и др.] // Сталь. – 1995. – № 1. – С. 56–59.
7. Лазерная и электроннолучевая обработка материалов: справ. / Н. Н. Рыкалин, А. А. Углов, И. В. Зуев [и др.]. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
8. Методы поверхностной лазерной обработки / А. Г. Григорьянц, А. Н. Сафонов; под ред. А. Г. Григорьянца. – М.: Высшая школа, 1987. – 191 с.
9. Сафонов, Е. Н. Поверхностное упрочнение железоуглеродистых сплавов дуговой закалкой / Е. Н. Сафонов, В. И. Журавлев // Сварочное производство. – 1997. – № 10. – С. 30–32.



10. Сафонов, Е. Н. Принципы электродугового поверхностного упрочнения железоуглеродистых сплавов / Е. Н. Сафонов, В. И. Журавлев, В. В. Стариков // «Синергетика – 96»: материалы Междунар. симп. – М., 1996. – С. 25–27.

11. Поверхностное упрочнение чугуна с шаровидным графитом электрической дугой прямого действия / В. И. Журавлев, Е. Н. Сафонов, В. В. Стариков [и др.] // Известия вузов. Черная металлургия. – 1994. – № 10. – С. 48–49.

12. Левашова, Е.Е. Разработка алгоритма технологического процесса восстановления быстроизнашиваемых деталей карьерного экскаватора / Е.Е. Левашова // Горное оборудование и электромеханика. – 2019. - №6. – С. 25 – 32.

УДК 62-91: 620.1.08

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ УТЕЧЕК ИЗ ТРУБОПРОВОДА НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОЧАСТОТНОГО МОНИТОРИНГА

Терещенко И.А., Аванесов А.С., Величко Е.И., Дунаев В.И., Поляков А.В.,  
Полякова В.В.

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»,  
г. Краснодар, Российская Федерация

*Статья посвящена описанию метода контроля утечек из трубопровода на основе электрочастотного мониторинга. Данное высокочастотное оборудование планируется монтировать на станциях электрохимзащиты (ЭХЗ), что позволит, не влияя на работу ЭХЗ, диагностировать состояние трубопровода без сложных конструктивных изменений, связанных с установкой приборов традиционного контроля. Данный способ можно успешно применить на существующих трубопроводах, завершающих свой срок эксплуатации, где установка новых систем диагностики экономически не целесообразна, а шанс возникновения утечек велик. Данный метод позволяет выявить как большие повреждения и врезки в трубопровод, так и мелкие дефекты изоляции.*

**Ключевые слова:** диагностика, трубопровод, частота, дефект, электрохимзащита.

## METHODOLOGY FOR DETERMINING LEAKAGE FROM A PIPELINE BASED ON ELECTRICAL FREQUENCY MONITORING

Tereshchenko I. A., Avanesov A. S., Dunaev V. I., Velichko E. I., Polyakov A. V., Polyakova V. V.

*The article is devoted to the description of the method of control of leaks from the pipeline on the basis of electro-frequency monitoring. This high-frequency equipment is planned to be installed at electrochemical protection stations (EHZ), which will allow, without affecting the operation of the EHZ, to diagnose the condition of the pipeline without complex structural changes associated with the installation of traditional control devices. This method can be successfully used on existing pipelines that are completing their service life, where the installation of new diagnostic systems is not economically feasible, and the chance of leaks is high. This method allows to reveal both large damages and tie-ins in the pipeline, and small defects of isolation.*

**Keywords:** diagnostics, pipeline, the frequency of the defect, the electro chemical protection

Для обеспечения безопасной эксплуатации трубопроводного транспорта, защиты от несанкционированных врезок необходима надежная система дистанционного контроля технического состояния трубопроводов с функциями обнаружения утечек. Такие системы интенсивно разрабатываются как в России, так и за рубежом.[1]

Наиболее опасными с точки зрения развития аварийных ситуаций являются плоскостные дефекты сварных соединений и около шовной зоны (трещины, расслоения и т.п.). В плоскостном дефекте значительное количество напряжения сосредоточено на малой площади, в результате чего данный тип дефекта стремится к постоянному росту. Присутствие плоскостных дефектов любых размеров не допустимо, соответственно и выявлять их в изделии необходимо почти со 100% вероятностью.[2]

В большинстве дефектов, расположенных непосредственно в полости металла, находится вакуум, акустические свойства которого значительно отличаются от акустических свойств целостного металла. Поэтому

дефекты в полости шва или металла являются хорошими отражателями, которые легко выявляются и дают возможность по амплитуде оценить их эквивалентную площадь. Все существующие методики проведения ультразвукового контроля предусматривают настройку прибора с учетом того, что в дефекте отсутствует технологическая среда. Это правильно только для нового оборудования, не находившегося еще в эксплуатации. На практике нередко приходится контролировать оборудование, которое уже находится в процессе эксплуатации. Оно часто является недостаточно подготовленным к обследованию, в том числе и из-за того, что в нем находится транспортируемая или хранимая среда [3].

В настоящее время актуальна проблема, связанная с эксплуатацией старых нефтегазопроводов, так как заниматься их реконструкцией и переоснащением под новые стандарты качества нерационально. В связи с этим, осветим простые альтернативные методы, нацеленные на предотвращение утечек, а также методы контроля за состоянием трубопроводного транспорта [3,4].

Авторами предлагается новый метод диагностирования, заключающийся в подаче переменного тока определенной частоты по трубопроводу, используемому в качестве проводника и дальнейшего анализа показаний осциллографа, путём разбиения пришедшей на датчик синусоиды на соответствующие гармоники.

Для этого на станциях электрохимзащиты устанавливается генератор электрочастотных импульсов(модулятор), который позволяет нам генерировать высокочастотный переменный ток. Вследствие того, что переменный ток распространяется во всех направлениях, необходимо на двух соседних станциях установить датчики (улавливатели) входного сигнала, которые будут фиксировать информацию о поступающем токе. В результате скин-эффекта переменный ток высокой частоты при протекании по проводнику распределяется не равномерно по сечению, а преимущественно в поверхностном слое, вследствие чего при появлении повреждения трубы выходной сигнал будет заметно изменяться. Это будет свидетельствовать о появлении трещины или врезки. В случае абсолютной герметичности трубопровода выходной сигнал с модулятора исказиться лишь из-за внутреннего сопротивления металла трубы и останется в пределах допустимого. Дальнейшую информацию необходимо обработать. Пришедшую комплексную функцию (синусоиду) можно представить в виде суммы элементарных гармоник разных порядков.

Лабораторные опыты по выявлению дефектов на макете трубопровода показали его эффективность. При лабораторном исследовании экспериментальным методом необходимо исследовать соответствие между искажением функции (порядком гармоники) и характерным ему виду дефекта, то после обработки полученного сигнала можно будет с точностью определить характер повреждения и его приблизительное местоположение. В зависимости от частоты подаваемого сигнала можно

выявлять различные виды дефектов на поверхности трубопровода, в случае их большого количества можно подбирать частоту сигнала так, чтобы выявлять конкретные повреждения. Работа системы задается оператором через определённые временные промежутки, позволяющие снизить влияние работы приборов на станцию ЭХЗ и затраты энергии на диагностику.

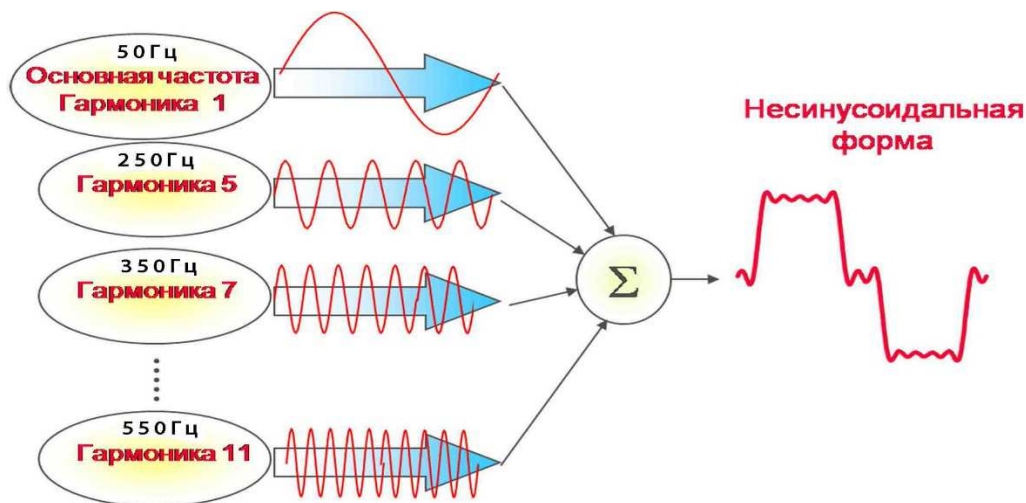


Рисунок 1 — Гармоники тока

Очевидно, можно выявить следующие плюсы данного метода:

1. Очень высокая чувствительность (выявление даже мельчайших дефектов);
2. Можно автоматизировать процесс через занесение математической модели в систему управления технологическими процессами;
3. Точность выявления размера и характера дефекта;
4. Без сложных конструктивных изменений, связанных с установкой приборов традиционного контроля;
5. Система работает периодически, график диагностирования задаётся оператором;
6. Существующая система станций ЭХЗ позволяет в полной мере обеспечить энергией приборы контроля и диагностику трубопровода по всей длине.

### Список используемых источников

1. Кунина П.С., Величко Е.И., Павленко П.П. Диагностика энергетического оборудования трубопроводного транспорта нефти и газа Краснодар: Издательский Дом-Юг, 2010. - 552 с. ISBN 978-5-91718-082-3
2. А.В. Поляков и др. Особенности проведение ультразвуковой дефектоскопии оборудования находившегося или находящегося в эксплуатации. Сбор, подготовка и транспортировка нефти и газа. / Поляков А.В., Дубов В.В., Степанов М.С., Мартюк В.П. // Проектирование, строительство, эксплуатация - 2015: Сб. докл. Международной научно-практической конференции. Сочи, Краснодарский край, 2015 г. / ООО «Научно-

производственная фирма «Нитпо» – Краснодар: ООО «Научно-производственная фирма «Нитпо», 2015 – 122 с.: ил.

3. П.С. Кунина и др. Настройка чувствительности ультразвукового дефектоскопа для контроля оборудования, заполненного транспортируемой или хранимой средой / Кунина П.С., Терещенко И.А., Дубов В.В., Поляков А.В., Новгородский А.А., Степанов М.С. // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2018. № 9. С. 49-54.

4. П.С. Кунина и др. Целесообразность проведения ультразвукового контроля при диагностике бурового инструмента / Кунина П.С., Терещенко И.А., Дубов В.В., Поляков А.В., Новгородский А.А., Степанов М.С. // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2018. № 8. С. 32-37.

УДК 622.002.05

## СТАНДАРТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ РЕМОНТА ГОРНОТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

<sup>1,2</sup>Андреева Л.И., д-р техн. наук., гл. научный сотр, <sup>2</sup>Красникова Т.И. науч. сотр. отдела ремонта ГТО,

<sup>1</sup>Челябинский филиал Института горного дела УрО РАН, г. Челябинск.

<sup>2</sup>НИИОГР, г. Челябинск.

*В статье рассмотрены вопросы стандартизации процессов ремонта горной техники посредством разработки регламентов, включающих: последовательность выполнения ремонтных операций, рекомендуемый инструмент, оснастку и приспособления, количественный и квалификационный состав ремонтной бригады, пооперационные меры безопасности, трудозатраты на выполнение ремонтных работ. Также рассмотрены карты ежесменного осмотра оборудования с фиксацией точек осмотра, требованиями к параметрам работы и их корректировке.*

**Ключевые слова:** стандартизация, регламенты, ремонт, карты осмотра, точка осмотра.

## STANDARDIZATION OF MINING EQUIPMENT REPAIR PROCESSES

Andreeva L. I., Krasnikova T.I.

*The article deals with the issues of standardization of mining equipment repair processes through the development of regulations that include: the sequence of repair operations, recommended tools, equipment and accessories, the quantitative and qualification composition of the repair team, operational security measures, and labor costs for performing repairs. Inspection checklists for the equipment's shift inspection are also considered. They fix inspection checkpoints and include requirements for operation parameters and their adjustment.*

**Keywords:** standardization, regulations, repair, inspection checklist, inspection checkpoints.

Одним из организационных методов эффективного функционирования ремонтной службы горнодобывающего предприятия является стандартизация рабочих процессов.

Объектом стандартизации рабочих процессов является деятельность ремонтного подразделения горнодобывающего предприятия, включающая технологические операции технического обслуживания и ремонта горных машин, а также потребляемые ресурсы. В соответствии с этим стандарт рабочего процесса включает не только требования к показателям воспроизводства процесса (устанавливает верхние и нижние пороговые значения показателя, выход за рамки которых влечет за собой определенные санкции), но и требования к его безопасности, качеству и экономичности.[1]

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 ремонтным персоналом и уровню эффективного использования ресурсов, вовлекаемых в процесс ТО и ремонта, что служит основанием для определения эффективности функционирования ремонтной службы.

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 ответственный за ее выполнение на требуемом уровне. Пример такого регламента приведён для сепаратора ПМБ-П-120/300 и гидроциклона ГЦ-1400 на рис. 1 и 2.






									
Зачистка правой цапфы от ржавчины		Демонтаж уплотнительной крышки вместе с лабиринтным уплотнением				. Выпрессовка стакана			
2.9	Застропить барабан (m=3600 кг), установить левой цапфой в сборе с редуктором на специальную опору, а правую сторону установить на деревянную подпорку (рис. 11)	Кран мостовой Q=10тс; Деревянная подпорка; Специальная опора; СПК1-3,0-5000 - 2 шт.	Ма ш. кра на Сле сар ь	1 1 1	I V I V	0,75	Проверить надёжность строповки. При транспортировке находиться в зоне видимости машиниста крана. Работы осуществлять по команде старшего, имеющего удостоверение стропальщика		
2.10	Застропить трубу и надеть её на правую цапфу (рис. 12). Установить опору под свободный конец трубы так, чтобы корпус барабана с правой стороны не опирался на деревянную подпорку. Демонтировать деревянную подпорку из-под барабана	Кран мостовой Q=10тс; СПК1-2,0-2000 - 1 шт.; Труба Ø180мм, L=3500мм; Специальная опора	Ма ш. кра на Сле сар ь	1 1 1	I V I V	0,5	При транспортировке находиться в зоне видимости машиниста крана. Беречь пальцы рук от защемлений. Следить, чтобы труба при подъеме сохраняла горизонтальное положение, не допускать перекосов трубы		
<b>Примечание:</b> конец трубы, устанавливаемый на цапфу, должен быть расточен до диаметра Ø100F9 на глубину 110 мм									

Рис. 1. Технологический регламент на ремонт сепаратора ПМБ-П-120/300

При стандартизации условий работы ремонтного персонала учитываются возможности повышения безопасности труда посредством освоения установленных для рабочего места стандартов безопасной и эффективной работы.[2]. Стандарт рабочего места ремонтника представляет собой совокупность рабочих инструкций, содержащих описание действий конкретного исполнителя (группы исполнителей) при выполнении технологических операций.

Стандарт рабочего места технологического персонала (сепараторщик, фильтровальщик и т.д.) представляет собой Карту ежесменного осмотра оборудования обогатительного комплекса.

2. 3	Отвернуть болты крепления фланцевого соединения питающего (нагнетательного) патрубка (рис. 7), отсоединить патрубок	Набор слесарного инструмента	Слесарь	1 1	V I V	0, 7	Болты отворачивать на себя. Использовать защитные очки и перчатки. Беречь пальцы рук от травм
2. 4	Отвернуть болты узла крепления гидроциклона к стойкам (рис. 8) и транспортировать краном на рем. площадку	Кран мостовой Q=15т; Такелажные скобы; 2СК-0,8-4000 – 1 шт. Ключ накидной	Маш. крана Слесарь	1 1 1	I V V I V	0, 8	
2. 5	При необходимости – произвести замену песковой насадки (см. п. «Замена песковой насадки»)	Набор слесарного инструмента	Слесарь	1 1	V I V	0, 5	
							
Расположение болтов крепления фланцевых соединений питающего и сливного патрубков, болтов крепления гидроциклона к стойкам		Расположение болтов крепления гидроциклона к стойкам		Схема строповки гидроциклона			

Рис. 2. Технологический регламент на ремонт гидроциклона ГЦ-1400

Пример карты ежемесячного осмотра обогатительного оборудования приведён на рис. 3 и 4.







				Контроль работы разбрызгивателей брызгал барабана ММС			
4	Контроль правильности установки угла наклона магнитных систем	Тяги должны быть натянуты (допускается 15...22°). В случае отсутствия их натяжения произвести замер угла поворота магнитной системы. Отрегулировать и выставить угол до нормы, подтянуть тягу.	Угломер Ключ 30-32	Периодично 1 раз в час	 	Наличие индивидуальных средств защиты: очки, перчатки, защитная одежда. Головка ключа не должна иметь наклепов.	
5	Контроль целостности желобов черного концентрата (рис.2)	Осмотреть желоба черного концентрата на наличие дефектов и повреждений, при их обнаружении сообщить мастеру.	Визуально	Постоянно в течение смены	 	Наличие индивидуальных средств защиты: очки, перчатки, защитная экипировка. Соблюдать личную осторожность при перемещении между секциями	

Рис. 3. Карта ежемесячного осмотра сепаратора ПБМ-П-120/300





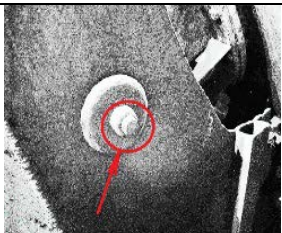


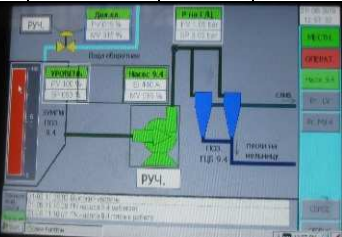
				Элементы крепления корпуса гидроциклона		
5	Контроль равномерной работы насоса (рис.4,5)	Следить за распылением струи (веера). Если насос качает неравномерно необходимо добавить питание в зумпф насоса. Следить за уровнем наполнения зумпфа. Значения показателя не менее 80% на регистраторе.	Визуально	Постоянно		Соблюдать личную осторожность при контроле распыления струи. Наличие средств индивидуальной защиты
		Контроль равномерной работы насоса			Регистратор показателей работы насоса	

Рис. 4. Карта ежемесного осмотра гидроциклона ГЦ-1400

Как показывает практика, избежать отклонений от установленных условий ведения технологического процесса невозможно. Однако любое отклонение вызывает дополнительное потребление ресурсов, а следовательно, и рост затрат. С целью рационального использования ресурсов и эффективной организации производственного процесса все отклонения необходимо учитывать по объектам и по технологическим процессам. Стандартизация технологических процессов и устранение отклонений от установленных стандартов производства ремонтных работ становится одним из инструментов улучшения организации ремонтной службы, позволяющим планировать и прогнозировать работу горнодобывающего предприятия в целом, а также выявлять и использовать внутренние резервы.

Определение нормативов продолжительности и затрат труда на ТО и ремонт горных машин базируется на исследовании технологии проведения ремонтных работ. Где, прежде всего, необходимо регламентировать рациональную последовательность разборочно-сборочных работ, которая зависит от вида ремонта и может значительно различаться даже для однотипного оборудования.

Таким образом, одной из причин низкого качества обслуживания горной техники является отсутствие обоснованного состава и регламента ремонтных воздействий. Регламентированный состав работ определяется в целях предотвращения прогрессивного нарастания износа, исключения

преждевременного появления отказов узлов и агрегатов горных машин и комплектован в соответствии с требуемой вероятностью его выполнения.

Разработанная в НИИОРГ ремонтно-технологическая документация на ремонтное обслуживание горной техники несет информацию о возможных вариантах последовательности операции, рекомендуемой оснастке и приспособлениях, составе и квалификации ремонтной бригады и безопасных приемах труда и при её освоении и использовании в процессах персоналом предприятия позволяет более эффективно распределять ресурсы, повышать качество ремонта и, тем самым, обеспечивать работоспособность техники на более длительный период.

### **Список литературы**

1. Артемьев В.Б., Галкин В.А., Кравчук И.Л. Безопасность производства (организационный аспект) – М.: Издательство «Горная книга», 2015 г.
2. Андреева Л.И. Методология формирования технического сервиса горнотранспортного оборудования на угледобывающем предприятии: дис. докт. техн. наук. / Л.И. Андреева. - Екатеринбург, 2004. 297 с.

УДК 622.002.05

## МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА РЕМОНТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ГОРНОЙ ТЕХНИКИ

Андреева Л.И., д-р техн. наук., гл. научный сотр<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Челябинский филиал Института горного дела УрО РАН, г. Челябинск.

*Повышение эффективности ремонтных работ на горнодобывающем предприятии является действительно актуальной задачей в современных условиях. Приобретение нового оборудования, в частности импортного, увеличение объемов производства и усложнение конструктивных параметров машин требуют существенных изменений в деятельности ремонтной службы предприятия. В статье представлены методы совершенствования организации ремонтов за счет развития ресурсосберегающих технологий, использования агрегатно-узловой метода ремонта, внедрения поэтапной системы технического обслуживания машин и ремонта с равными ресурсными наборами. Предложен подход к выявлению причинно-следственной связи реализации дефекта в технической системе. Рассмотрены основные факторы, влияющие на техническое состояние экскаваторов в процессе производства и технической эксплуатации машин. Представлены наиболее эффективные методы оценки технического состояния узлов и агрегатов машин в процессе эксплуатации по косвенным признакам.*

**Ключевые слова:** конструктивные параметры, машины, совершенствования методов организации, агрегатно-узловой метод ремонта, равноресурсный комплект, диагностика узлов и агрегатов.

## METHODS FOR IMPROVING THE QUALITY OF MAINTENANCE OF MINING EQUIPMENT

Andreeva L.I.

*Increase in efficiency of repair service at a mining enterprise is a really actual task in modern conditions. The acquisition of new equipment, in particular imported, increase of production volumes and complication of machines design parameters require significant changes in the activities of the enterprise's repair service. The article presents methods for improving the organization of repairs through the development of resource-saving technologies, the use of the aggregate-nodal repair method, the introduction of a machine maintenance phased system, and repair with equal-resource sets. It is proposed an approach to identifying a causal relationship of defect implementation in the technical system. The main factors affecting the technical condition of excavators during production and technical operation of machines are considered. Here are presented the most effective methods for assessment of machine components and aggregates technical condition during operation based on indirect signs.*

**Keywords:** machine design parameters, improvement of organization methods, aggregate-node repair method, equal-resource set, diagnostics of components and aggregates.

Исторически сложившаяся организация ремонта горного оборудования, состояние ремонтной базы, номенклатура и количество эксплуатируемой техники, её состояние и ремонтпригодность предопределяет постепенный переход к более совершенным методам организации ремонта горного оборудования: освоение агрегатно-узловой метода ремонта для всех видов оборудования, применение рассредоточенного (поэтапного) ремонта и внедрение наиболее прогрессивного метода - равноресурсными комплектами.

Для применения агрегатно – узловой метода формируется экскаваторный парк с минимальным количеством марок машин, имеющих унифицированные стандартизированные узлы и агрегаты. Формируется оборот-

ный фонд запасных узлов и агрегатов, разрабатывается необходимая техдокументация, переоснащается, соответственно, ремонтная база.[1]

Практика применения агрегатно-узлового метода ремонта на предприятиях угольной промышленности показала, что продолжительность плановых ремонтов можно снизить на 30-50%, а время простоев при отказе техники (аварийная остановка) свести к продолжительности демонтажа – монтажа вышедших из строя узлов и агрегатов.

При аварийном ремонте (по оценкам специалистов «Кузбассразрезуголь») доля времени, связанная с ремонтом в цехе, составляет в настоящее время 60-70% времени ремонта экскаваторов. Сокращение времени аварийных простоев экскаваторов на период ремонта узлов в ремонтном цехе позволяет добыть дополнительно 112,5 тыс. тонн полезного ископаемого год (рис. 1).

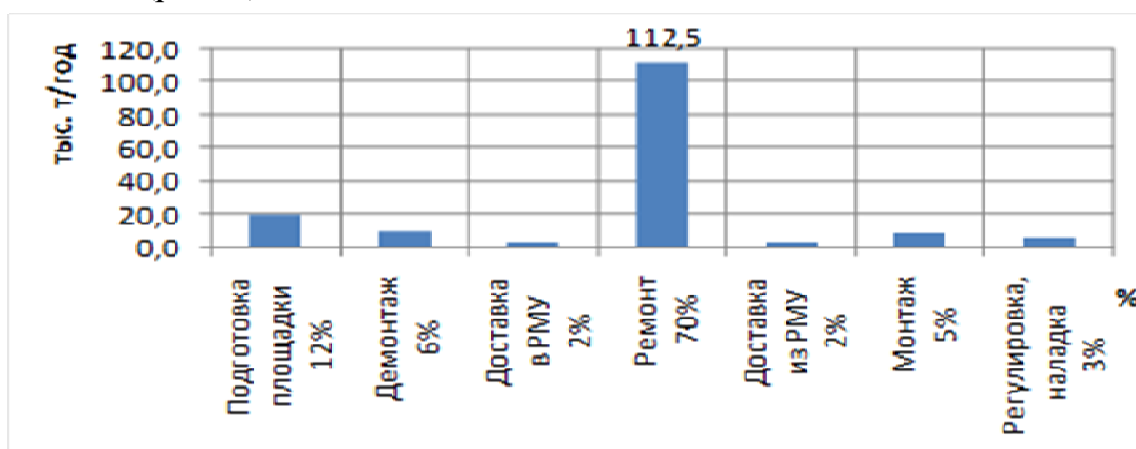


Рис. 1. Условные потери полезного ископаемого, связанные с простоем экскаваторов в аварийном ремонте

Рассредоточенный (поэтапный) ремонт позволяет сократить простои в ремонте на 30-60% и рассредоточить объемы ремонтов равномерно в течение планируемого промежутка времени, например, года, тем самым существенно увеличить межремонтный период.

Внедрение поэтапной системы ремонта требует проведения большой подготовительной работы, связанной с трудовым, материальным и техническим обеспечением ремонтных работ; организационной перестройки структуры управления ремонтными работами, принципиально новой организации технического обслуживания и ремонта горных машин.

Ремонт равноресурсными комплектами рассчитан на оборудование «нового поколения», узлы и детали которого должны обладать длительными сроками службы, при этом агрегаты и механизмы будут состоять из равноресурсных деталей и комплектов. Например, валы, вал-шестерни, зубчатые колёса редукторов. Это даст возможность заменять изнашиваемые узлы равномерно в течении всего срока службы машин готовыми узлами и комплектами, поскольку полностью и равномерно изношенные старые не подлежат ремонту.

Ремонт равноресурсными комплектами позволит сократить простой оборудования в 6-8 раз при освоении промышленностью производства горнотранспортных машин на базе равноресурсных сборочных единиц.[2]

Одной из неотъемлемых операций должен быть контроль фактического технического состояния оборудования с целью установления момента предаварийного состояния, возникающего, в первую очередь, в результате выработки ресурса. При этом предполагается, что операции по техническому обслуживанию (ТО) обеспечивают работоспособное состояние оборудования в заданных условиях эксплуатации.

Определять моменты наступления предаварийных состояний целесообразно следующими способами:

а) по статистическим характеристикам отказов, полученным из представительной выборки данных для одинаковых узлов с определенной долей риска, тем большей, чем больший разброс во времени момента наступления отказа;

б) периодическим контролем фактического технического состояния разборным или безразборным методами тех узлов экскаватора, от которых в наибольшей мере зависит его работоспособность, сравнением с аналогичными техническими характеристиками исправного узла и его предельно допустимым состоянием;

в) формализованным (расчётным) методом определения выработанного технического ресурса узла и сравнением его с гарантируемым заводом-изготовителем.

Очевидно, что для высокопроизводительного оборудования, выпускаемого, либо приобретаемого за рубежом, как правило, малыми сериями или единичными образцами, первый способ неприемлем. Для рассматриваемого оборудования рекомендуется включать в систему ТО диагностические методы контроля фактического состояния и косвенные методы выработки ресурса. Под диагностикой технического состояния понимается контроль (причинно-следственная связь) часто изнашиваемых узлов и деталей, позволяющий установить неисправности на ранней стадии их зарождения (рис. 2).



Рис. 2. Причинно-следственная связь реализации дефекта в технической системе

Формализованные методы определения диагностических признаков предусматривают (ГОСТ 20911-75) анализ математических моделей объекта диагностирования.

Как показывает опыт эксплуатации, наибольшее количество отказов по механическому оборудованию приходится на редукторы. При этом частота повреждений достигает для зубчатых колес – 60 %, подшипников – 19 %, валов – 10 %, корпусов – 7 %, крепёжных деталей – 3 %, уплотнений – 1 %. При этом возникающие повреждения, как правило, взаимосвязаны. Основные факторы, влияющие на техническое состояние узлов и агрегатов экскаваторов, приведены на рис. 3. [3]

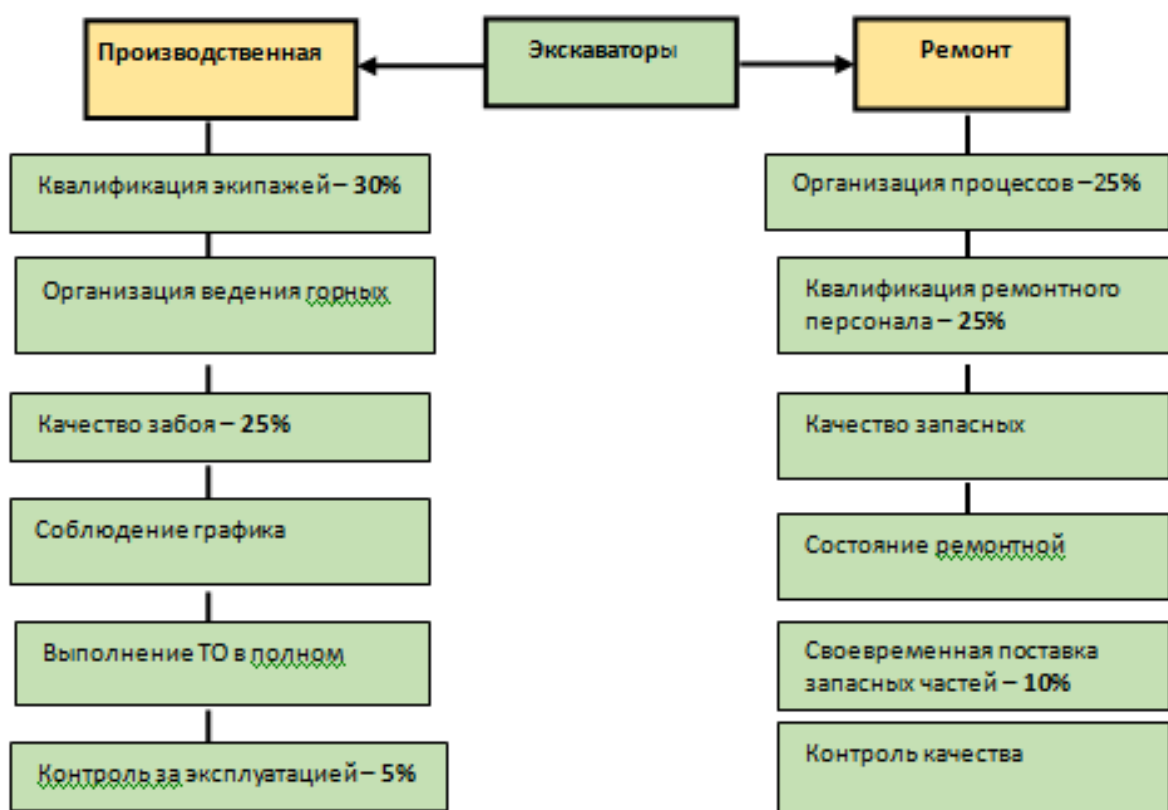


Рис. 3. Основные факторы, влияющие на техническое состояние экскаваторов (анкетирование руководителей и специалистов - 57 чел.)

Существующие методы измерения износа могут быть представлены следующими группами:

не требующие разборки – по оценке износа в зависимости от изменения косвенных технических параметров (по химическому, спектральному, активационному анализу смазки; по изменению виброакустических характеристик; по изменению температурного режима в зоне контакта);

связанные с разборкой – микрометрирование, взвешивание;

требующие специальной подготовки (метод искусственных баз, метод радиоактивных индикаторов).

Наиболее эффективным методом оценки технического состояния узлов машин в процессе эксплуатации является неразрушающие безразборные испытания, позволяющие по косвенным признакам судить о фактиче-

ском техническом состоянии оборудования. Среди различных методов контроля износа практическое применение находят следующие:

- а) контроль износа;
- б) химический анализ;
- в) спектральный анализ;
- г) радиоизотопный;
- д) вибродиагностический.

Первый из этих методов дает суммарную оценку износа сопрягаемых деталей механизма по изменению технических параметров машины (например, теряется производительность, точность, повышается расход горючего и т.д.). Чувствительность этого метода невелика, и он связан с длительной эксплуатацией машины.

Химический и спектральный анализ также дают суммарную оценку интенсивности износа по обогащению смазочного масла продуктами износа. Оба метода обладают высокой чувствительностью наряду с высокой сложностью и длительностью анализа. Эти методы являются перспективными при массовом контроле однотипных механизмов и налаженной системе агрегатно-узлового метода ремонта.

Метод радиоактивных изотопов предполагает использование или полностью активированной детали или радиоактивной вставки, либо покрытия, а также введение изотопов в структуру материала детали при её изготовлении. Преимущества метода – высокая чувствительность, небольшая продолжительность анализа, недостатки – необходимость предварительной специальной обработки и создание эталонных образцов.

В основу вибрационно-диагностического контроля износа положена зависимость между параметрами вибросигнала, излучаемого механизмом при его работе и износом механизма. Достоинством этого метода является возможность локализации неисправного элемента и установления по характеру изменения виброакустического сигнала типа неисправности.

Анализ результатов обследования экскаваторов в Кузбассе позволил обнаружить дефекты узлов на ранних стадиях их зарождения тогда, когда другие параметры их не «чувствуют».

Прирост вибраций поддаётся прогнозу, поэтому становится возможным оценить остаточный ресурс и спрогнозировать ремонт. Если перегрев подшипника обычно означает конечную стадию срока службы и необходимость немедленного ремонта, то при помощи вибродиагностики можно определить выход подшипника из строя за 3-6 месяцев, когда ещё достаточно времени для заказа запасных частей.

По результатам проведённого обследования экскаваторов было выявлено:

#### **Синхронный двигатель.**

Техническое состояние оценивается по параметрам вибрации как допустимое, близкое к удовлетворительному,  $V_e = 4,7$  мм/с. Выявлена рас-

центровка с генератором тяги, нарушение режима смазки подшипниковых узлов.

***Рекомендации:***

провести центровку валов,  
промыть подшипниковые узлы, заменить смазку.

**Генератор подъема.**

Техническое состояние оценивается по параметрам вибрации как **удовлетворительное**,  $V_e = 4,3$  мм/с. Выявлен дефект электромагнитного происхождения, незначительное ослабление посадки подшипниковых узлов.

***Рекомендации:***

провести контроль электрических характеристик генератора.

**Механизм поворота левый.**

Техническое состояние оценивается по параметрам вибрации как **допустимое**,  $V_e = 5,2$  мм/с. Выявлено нарушение геометрии зубчатого зацепления первой ступени и износ венцовой шестерни.

***Рекомендации:***

провести ревизию зубчатого зацепления первой ступени.  
провести осмотр венцовой шестерни и поворотных валов.

Что касается методов локального постоянного контроля наиболее ответственных узлов, рекомендуется использовать соответствующие датчики контроля температуры, напряжений в элементах, устройства регистрации перегрузок и т.д. в единой контрольно-измерительной системе на базе бортовых микро-ЭВМ (микропроцессоров).

Диагностика с помощью представленных методов, с последующими микрометрированием и т.д., производится с целью накопления и систематизации информации об интенсивности (характере) приближения значений параметров, определяющих состояние механизма к их предельным состояниям в зависимости от условий эксплуатации. В настоящее время разработаны и успешно используются разнообразные устройства для контроля степени износа деталей, в том числе в труднодоступных местах (принципы световодов). [4]

Предложения по технической реализации методов контроля состояния механизмов должны рассматриваться на длительную перспективу с учётом разработки и внедрения нового поколения контрольно-измерительной аппаратуры, входящей в функциональные схемы систем контроля. Выбор конкретной аппаратуры и режимов диагностирования должен быть осуществлен после соответствующих научно-исследовательских работ и технико-экономического обоснования.

Таким образом, применение методов диагностирования даёт возможность повысить техническую готовность горной техники в среднем на 25 – 30 %, исключить необоснованные разборочные работы, что позволяет сохранить технический ресурс элементов (деталей) машин; обеспечить полную выработку ресурса (в настоящее время до 55 % деталей направляют в ремонт с недоиспользованным ресурсом); повысить безопасность работы



за счёт частых ревизий и контроля узлов; позволяет увеличить ресурс работы оборудования до 30 – 35 % за счёт исключения необоснованных разборок и сопутствующих им режимов приработки.

### **Список литературы**

1. Андреева Л.И. Методология формирования технического сервиса горнотранспортного оборудования на угледобывающем предприятии: дис....д-ра техн. наук. Екатеринбург, 2004. 305 с.
2. И.В. Пивоваров и др. Подход к совершенствованию организации и оплаты труда при ремонте оборудования обогатительной фабрики / Пивоваров И.В., Лахин А.А., Воронин В.В., Марьясов И.В., Хажиев В.А. // Горный информационно – аналитический бюллетень (научно – технический журнал) – М.: Горная книга. – 2015 - №11. – Специальный выпуск №62. – С. 244 – 253.
3. Д.А. Шибанов и др. Комплексная оценка факторов, определяющих наработку экскаваторов ЭКГ новой продуктовой линейки производства «ИЗ-КАРТЭКС / Шибанов Д.А. Шишлянников Д.И. Иванова П.В., Иванов С.Л. // Горное оборудование и электромеханика», 2015. №118. С. 3-9.
4. Андреева Л.И. Возможности повышения эффективности использования ресурсов в ремонтном производстве / Проблемы недропользования: Сетевое периодическое научное издание / ИГД Ур О РАН. – Екатеринбург, 2015. – Вып. 1 (4). – С. 134 – 141.

## УДК 69.059.4

### ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КРАНОВЫХ ПУТЕЙ

Дерябин В.С., магистрант, Лукашук О.А., доц., к.т.н.

Уральский Федеральный Университет имени первого президента России Б.Н. Ельцина

*В статье представлена аналитическая информация по существующим нормативным документам, регламентирующим порядок и периодичность обследования крановых рельсовых путей. Проведён сравнительный анализ альтернативных способов обследования крановых путей, выделены проблемные места, возникающие при их обследовании. Разработана конструкция тележки для обследования рельсовых крановых путей опорных кранов.*

**Ключевые слова:** крановые пути, безопасность, комплексное обследование, обслуживание крановых путей, тележка, люлька, планово-высотная съёмка (ПВС).

### ASSESSING TECHNICAL STATE OF CRANE RAILS

Deryabin V.S., Lukashuk O.A.

*The article presents analytical information on existing normative documents regulating the procedure and periodicity of inspection on crane rails. A comparative analysis of alternative ways to examine crane rails is carried out, and problem areas which arise during that examination are highlighted. A trolley was designed for the purposes of assessing rails of supported cranes.*

**Keywords:** crane rails, safety, complex examination, maintenance of crane rails, trolley, cradle, planned high-altitude examination.

Срок службы грузоподъемных кранов, установленных на рельсовых путях, как известно, зависит от технического состояния крановых путей, их элементов, а также строительных конструкций, на которых они расположены, четкого функционирования системы технического обслуживания, освидетельствования и ремонта крановых путей и кранов; правильного ведения эксплуатационной и ремонтной документации на кран и крановые пути; квалификации обслуживающего и контролирующего персонала [1].

Крановые пути – элемент конструкции для равномерного распределения веса крана (с грузом или без) на землю, а также для плавного передвижения оборудования на любой высоте. В современной промышленности чаще всего используются два типа крановых путей, которые принято подразделять на наземные и надземные, последние в свою очередь подразделяются ещё на подвесные и опорные [2].

Наземные пути устанавливаются для работы козловых, башенных, порталных и некоторых специальных кранов. Согласно ФНП «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения» [3] данный вид путей необходимо обследовать не реже чем один раз в двенадцать месяцев, а также после продолжительных ливней и частых оттепелей. С обследованием данного вида путей не возникает никаких проблем, так как проверить комплектность, наличие дефектов, провести планово-высотную съёмку можно перемещаясь рядом с нитью путей по земле, не рискуя при этом своей безопасностью.

Надземные пути подвешенного типа устанавливаются преимущественно для работы мостовых однобалочных кранов небольшой грузоподъёмности. Согласно [3] данный вид путей необходимо обследовать не реже чем один

раз в двенадцать месяцев. При обследовании данного вида путей возникают сложности, связанные с тем, что пути располагаются на определённой высоте от уровня пола, и если при относительно не большой высоте подъёма ( $h = 4 \dots 7$  м) плано-высотную съёмку возможно, провести с пола, то проверить комплектность и наличие дефектов можно только находясь в непосредственной близости к путям. А подобраться к ним можно либо с помощью сборно-разборной строительной конструкции (строительные леса), либо с помощью автомобильной вышки.

Надземные пути опорного типа устанавливаются для работы мостовых однобалочных, двухбалочных, специальных кранов, независимо от грузоподъёмности. При обследовании данного вида путей так же возникают сложности, связанные с тем, что пути располагаются на достаточно большой высоте от уровня пола, но в отличие от предыдущего типа, можно обойтись без различных сборно-разборных конструкций, пройдя по балкам сверху.

Надземные крановые пути – важная часть промышленного здания или сооружения. Их преждевременный выход из строя снижает эксплуатационные качества кранов и крановых конструкций и влечет за собой значительные затраты, связанные с ремонтом путей и задержкой технологического процесса. Характерными недостатками эксплуатации крановых путей являются: отсутствие или некачественное исполнение геодезической съёмки при сдаче крановых путей в эксплуатацию (некоторые дефекты, возникающие при монтаже, не выявляются и не устраняются); отсутствие периодической геодезической съёмки и осмотров крановых путей в ходе эксплуатации (возникающие дефекты и деформации крановых путей своевременно не устраняются); дефекты в сварных швах и узлах крепления рельсов к подкрановым балкам и балок к колоннам [4].

Наиболее часто используемый метод обследования – это когда рабочий идёт поперёк крановых путей (рис. 1). Главное преимущество такого обследования – отсутствие денежных затрат на дополнительное оборудование, но, пожалуй, это единственное его преимущество. Если говорить о недостатках, то можно выделить ряд существенных, такие как: низкий уровень безопасности [5], рабочему приходится идти по узкой балке на высоте  $h = 4 \dots 25$  м; так как крановые пути находятся под ногами рабочего, ему приходится постоянно нагибаться к элементам крепления и стыков, что создаёт много неудобств, временные затраты, и большие физические нагрузки; с высоты человеческого роста сложно увидеть некоторые дефекты, такие как трещина; работая на высоте, человек постоянно находится в стрессовой ситуации, что вызывает психологические нагрузки.



Рис. 1 – Надземные пути опорного типа

Альтернативным методом обследования является использование автомобильной вышки. По сравнению с предыдущим вариантом, этот способ безопаснее, но влечёт за собой затраты на оплату аренды автовышки и затраты от временной остановки производства, а также постоянные перестановки с одного места на другое автомобильной вышки, так как она не способна с одной точки обслужить расстояние более 16 м путей.

Согласно действующей нормативно-технической документации, а именно ГОСТ Р 56944-2016 «Краны грузоподъёмные. Пути рельсовые крановые надземные. Общие технические условия» и РД 10-138-97 «Комплексное обследование крановых путей грузоподъёмных машин. Часть 1. Общие положения. Методические указания» требуется проведение планово-высотной съёмки крановых направляющих при ненагруженных путях. СП 12-103-2002 «Пути наземные рельсовые крановые. Проектирование, устройство и эксплуатация» кроме выше описанной процедуры планово-высотной съёмки предписывает определять упругую просадку кранового пути.

Для решения обозначенной выше проблемы разработана конструкция тележки для обследования крановых путей опорного типа [6], способной без многочисленных перестановок перемещаться по крановым путям, перемещая при этом рабочего (рис. 2). Преимущества данного варианта: безопасность рабочего; затраты на разработку и производство данной конструкции минимальны; эксплуатация разработанной тележки возможна без остановок производственного оборудования, процесс обследования ускоряется и проводится более качественно.

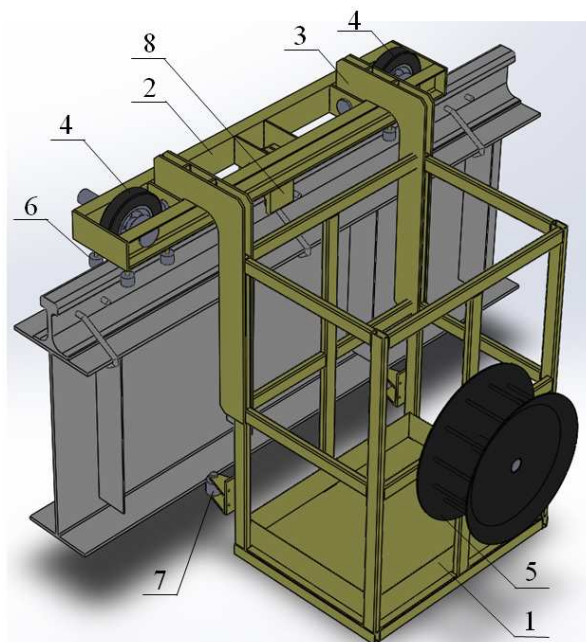


Рис. 2 – 3D модель тележки для обследования крановых путей  
 1 – люлька, 2 – ездочная балка, 3 – кронштейн, 4 – механизм передвижения,  
 5 – кабельный барабан, 6 и 7 – верхние и нижние опорные ролики, 8 – полуавтоматический  
 рельсовый захват

Безопасная эксплуатация кранов мостового типа во многом зависит от устройства и исправности крановых путей. Разработанная тележка позволяет проводить обследование крановых путей в безопасных для обслуживающего персонала условиях, ускоряет процесс обследования и делает его более качественным.

### Список литературы

1. Стоцкая Л.В., Ташков А.Ф., Рожков Н.А. Результаты экспертизы крановых путей // Безопасность труда в промышленности, 2002 - № 11. Стр. 61-62.
2. ГОСТ Р 56944-2016 «Краны грузоподъемные. Пути рельсовые крановые надземные. Общие технические условия».
3. ФНП «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения», утвержденные приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору 12 ноября 2013 г. № 533. Режим доступа: <http://www.gosnadzor.ru/industrial/equipment/acts/> (дата обр. 24.02.2020 г.).
4. Салахутдинов Ш.А. Анализ влияния эксплуатационных параметров рельсового кранового пути на распределение опорной реакции /Ш.А. Салахутдинов, Н.И.Чашин, Т.Е.Воронцова // Транспорт Урала. - 2006. -N 1(8). -С.84-87.
5. Приказ № 155н министерства труда и социальной защиты Российской Федерации, об утверждении правил по охране труда при работе на высоте.
6. Дерябин В. С., Лукашук О. А. К вопросу оптимизации процесса комплексного обследования рельсовых крановых путей // Инновационное развитие техники и технологий наземного транспорта, Уральский федеральный университет.— Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2020.— стр. 110-112.

УДК 662.271

## ПРЕДПОСЫЛКИ ОРГАНИЗАЦИИ КЛАСТЕРА СЕРВИСНОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ТОРФОДОБЫВАЮЩЕЙ ТЕХНИКИ В РФ

Яконовская Т.Б.<sup>1</sup>, доц., Жигульская А.И.<sup>1</sup>, доц., Оганесян А.С.<sup>1</sup>, аспирант  
<sup>1</sup>Тверской государственной технической университет, г. Тверь

*В статье приводятся результаты исследования рынка технического сервиса машин и оборудования торфодобывающего сектора хозяйственной деятельности. Предлагается модель организации кластера сервисного сопровождения торфодобывающих машин на территории Тверского региона.*

**Ключевые слова:** рынок сервисного обслуживания, торфодобывающие машины и оборудование, кластер.

## PREREQUISITES FOR THE ORGANIZATION OF A CLUSTER OF SERVICE SUPPORT FOR PEAT MINING EQUIPMENT IN THE RUSSIAN FEDERATION

Yakonovskaya T., Zhigulskaya A., Oganesyanyan A.

*The article presents the results of a study of the market for technical maintenance of machinery and equipment for the peat mining sector of economic activity. A model is proposed for organizing a cluster of service support for peat extraction machines in the Tver region.*

**Keywords:** service market, peat mining machines and equipment, cluster.

Одним из важнейших направлений «Энергетической стратегии России на период до 2035 года» является эффективное расширение использования местных возобновляемых видов топливно-энергетических ресурсов, в том числе на основе торфа, который весьма широко представлен на территории всех субъектов РФ. Выполнение этой стратегической задачи зависит от состояния торфодобывающей техники, которое напрямую влияет на экономическую безопасность предприятий торфяной отрасли. Многие комплексы торфяной техники используются в мелиорации, лесной и сельскохозяйственной отраслях. Несмотря на применение торфяной техники в разных сферах, основным ее потребителем является торфодобывающая отрасль, крупнейшими производителями в которой являются: Пельгорское-М, Агронабритейл, Велторф, Торфо, Удмуртторф, ВяткаТорф, Питэр Пит, Пиндструп, Промресурс, Уралэкошил, Торфопредприятие «Нестеровское», Торфозавод «Агроторф», Северо-Западная торфяная компания, Агропром, Параньгинское торфопредприятие, Ресурс, Экопром, Сфагнум. До 90% предприятий формирующих торфодобывающую отрасль России сконцентрировано на границе Северо-Западного (СЗФО) и Центрального (ЦФО) федеральных округов РФ (рис. 1). Таким образом, Тверская область занимает географическое положение, которое позволяет ей стать центром организации кластера сервисного сопровождения торфодобывающих и торфоперерабатывающих машин и оборудования.

В парке торфодобывающей техники торфяной отрасли России насчитывается до 800 единиц добывающих машин и оборудования, до 75% из них находится в СЗФО и ЦФО. Основную массу составляют торфяные

фрезерные агрегаты и торфоуборочная техника изготовленные зарубежными компаниями. В свою очередь крайне слабое развитие российского торфяного машиностроения, а в связи с этим усиливающаяся зависимость отрасли от импорта машин и оборудования по добыче и переработке торфа, создает барьер для эффективного развития торфяной и смежных с ней отраслей.

Проведенный авторами анализ [1, 2] демонстрирует снижение технического уровня парка торфяных машин. Износ торфодобывающих комплексов является настораживающим фактором, а это, в свою очередь, предъявляет высокие требования к качеству сервисного сопровождения торфяных машин и оборудования.

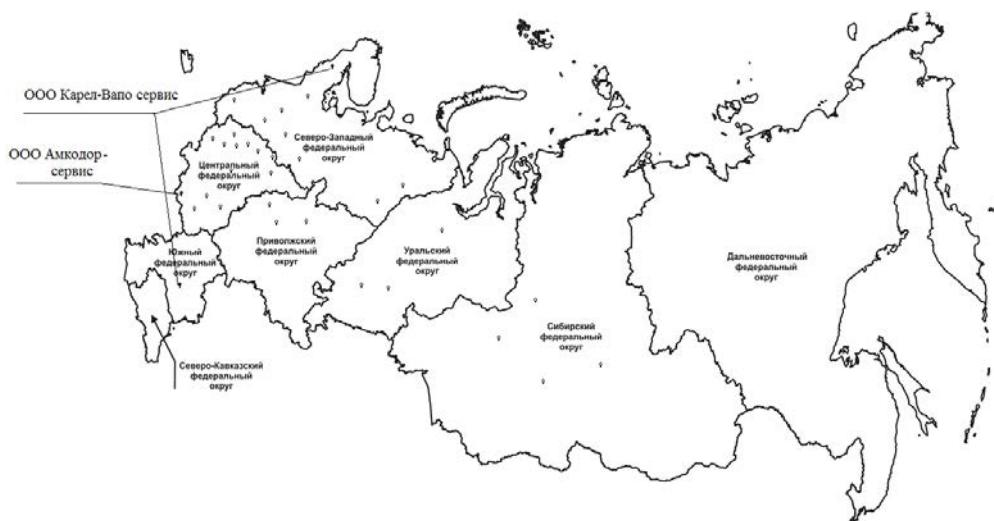


Рис. 1 Сервисные дилерские центры (★) технического ремонта и сопровождения технологического парка торфопредприятий (♦) в РФ.

В России отсутствует торфяное машиностроение как таковое, программы импортозамещения для торфодобывающих предприятий не действуют. Ремонт импортной торфяной техники обходится торфодобытчикам очень дорого табл.1.

Таблица 1. Средняя стоимость торфодобывающих машин и стоимость их ремонта

Марка торфяной техники	Стоимость торфяных машин		Стоимость ремонта	
	евро.	руб.	руб.	%
Фрезер	9000	630000	333900	53
Ворошилка	6000	420000	193200	46
Валкователь	8000	560000	280000	50
Уборочная	12000	840000	546000	65
Штабелер	18000	1260000	907200	72

Так как, одними из главных причин кризисного состояния торфяных предприятий являются: крайне высокая степень износа торфяной техники и высокая стоимость ремонта, то вопрос организации сервисного обслуживания торфодобывающих машин и оборудования весьма актуален и представляет интерес ученых [3]. Следует отметить, что большое количество публикаций посвящено решению довольно узких проблем, таких как влия-

ние качественных характеристик торфяного массива на надежность и безотказность торфяных машин, вопросы автоматизации и внедрения информационных технологий для анализа эксплуатационных свойств торфяной техники, структурное моделирование эксплуатационных параметров торфяных машин. В связи с этим большая часть исследований посвящена вопросам научного анализа эксплуатационных свойств торфяной техники, при этом вопросы совершенствования системы сервиса и обслуживания торфяной техники в рамках торфодобывающего предприятия, а также организация комплексного обслуживания потребителей торфяной техники практически остаются не изученными.

Одним из перспективных направлений организации деятельности по технологическому сопровождению торфяной техники является формирование регионального сервисного кластера, под которым понимают комплекс связанных между собой субъектов рынка сервисного обслуживания, которые взаимодействуют друг с другом и обеспечивают обслуживание торфяной техники в течение всего жизненного цикла торфяных машин.

Посредством организации сервисного кластера развивается сфера малого и среднего инновационного бизнеса [4]. Повышается конкурентоспособность и инвестиционная привлекательность региональной экономики, так как развиваются технопарки и индустриальные площадки. Главной задачей формируемого кластера технического сопровождения является комплексное сервисное обслуживание потребителей торфодобывающей техники. Так как сервисный рынок является вторичным, то потребитель торфяных машин сталкивается с услугами ремонта только после приобретения торфодобывающей техники, а это означает, что необходимо обеспечить информационный обмен между производителем торфяного оборудования и потребителем (торфодобывающим предприятием).

Ввиду центрального расположения Тверской области в географической сети торфопредприятий организация кластера сервисного сопровождения торфодобывающих и торфоперерабатывающих машин и оборудования представляется экономически целесообразной. А потому на территории ООО «ГринМаш» г. Тверь создан центр сервисного сопровождения торфяной техники, на технической базе которого, организовано также производство торфяных машин (рис. 2). На ООО «ГринМаш» организованы следующие сферы обслуживания:

1. Производственная – состоит из операций технологического цикла технического обслуживания и ремонта, а также модернизации и утилизации торфяной техники;
2. Научно-техническая – включает научные организации, базы данных технической информации и нормативно-правовое обеспечение;
3. Инфраструктурная – включает обеспеченность материально-техническим снабжением и производственными площадками;
4. Организационно-экономическая – состоит из бизнес-процессов логистического, торгового и финансового сопровождения.





Рис. 2 Структурная схема кластера технического сопровождения торфодобывающей техники на базе ООО «ГринМаш» г. Тверь

Организация кластера технического сопровождения торфяной техники входит в программу кластеризации промышленности Российской Федерации. Такая интеграционная структура позволит ускорить процессы инновационного развития торфяной отрасли, а также повысить уровень ее конкурентоспособности.

### Список литературы

1. А.И. Жигульская и др. Анализ опыта использования различных стратегий ремонта торфяной техники на примере ООО ТЭК "ТВЕРЬРЕГИОНТОРФ"/ Жигульская А.И., Яконовская Т.Б., Жигульский М.А., Яконовский П.А. //Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: Сборник трудов XVII Международной научно-технической конференции. Под общей редакцией Ю.А. Лагуновой. 2019. С. 408-412.
2. Б.Ф. Зюзин и др. Технологический парк торфоразработок России: проблемы структуры и износа / Зюзин Б.Ф., Жигульская А.И., Яконовская Т.Б., Жигульский М.А.// Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2017: Сборник научных трудов международной научно-технической конференции. Научные редакторы В.В. Максаров, В.В. Габов. 2017. С. 42-46.
3. А.И. Жигульская и др. Анализ эксплуатационных свойств торфяных машин и оборудования с целью выявления перспективных направлений их модернизации / Жигульская А.И., Яконовская Т.Б., Соболев Ю.В., Давитян С.К., Петрова Е.В. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. №1. С. 66-70.
4. Борисенко И.Л., Родионова В.Н., Макаров Н.Н. Модель сервисного кластера для обслуживания промышленного оборудования // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2017. Т. 10, № 4. С. 198—206. DOI: 10.18721/JE.10419

УДК 621.879.3

## АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОТКАЗОВ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

Побегайло П.А.<sup>1</sup>, с.н.с., к.т.н.; Ильина А.Н.<sup>2</sup>, доц., к.физ-мат.н.; Крицкий Д.Ю.<sup>3</sup> инженер

<sup>1</sup> - ИМАШ им. А.А. Благонравова РАН, Москва, РФ;

<sup>2</sup> - ФГБОУВО МАИ (НИУ), Москва, РФ;

<sup>3</sup> - АО "СУЭК-КРАСНОЯРСК", Красноярск, РФ

*В настоящей работе её авторами представлены новые полученные ими результаты по вопросу анализа некоторых характеристик отказов машин для открытых горных работ (в первую очередь - карьерных экскаваторов). С помощью созданных авторами инструментов был выполнен анализ частотного распределения времени появления единичного отказа и времени затрачиваемого на устранение последнего. Это позволило разработать процедуру анализа таких частотных диаграмм с помощью средств математического пакета Matlab - при этом оказалось, что необходимо брать не менее 20 гармоник. Сформулирована задача оптимизации площади таких графиков, названной авторами энтропией и являющейся мерой эффективности работы служб ремонта разрезов.*

**Ключевые слова:** карьерные одноковшовые экскаваторы; отказы горных машин; ритмы отказов; системы экспресс - диагностики

## ANALYSIS OF SOME FAILURE CHARACTERISTICS MINING EXCAVATORS

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

*In the present work, its authors present the new results they obtained on the issue of analyzing some characteristics of machine failures for open cast mining (primarily, mining excavators). Using the tools created by the authors, an analysis of the frequency distribution of the time of occurrence of a single failure and the time spent on eliminating the latter was performed. This made it possible to develop a procedure for analyzing such frequency diagrams using the tools of the Matlab mathematical package - and it turned out that it was necessary to take at least 20 harmonics. In addition, the authors formulated the problem of optimizing the area of such graphs, called the entropy by the authors and being a measure of the efficiency of the section repair services.*

**Keywords:** mining excavators; stress raisers; failures of mining vehicles; failure rhythms; system of Express - diagnostics

**Введение.** Как известно [1-3], машины для открытых горных работ проектируются на достаточно длительный срок эксплуатации. Однако, в современных условиях хозяйствования, достаточно часто указанные машины эксплуатируются и после исчерпания проектного срока. Достаточно часто на это накладывается как отсутствие заводского сопровождения этих машин (почти сразу от момента их сборки и запуска), так и неполнота потребной конструкторской документации.

В случае наложения на это тех или иных ошибок как операторов, так и ремонтных служб (которые сейчас неизбежны), тяжелых климатических условий, плохих условий экскавации (негабариты и пр.) мы получаем ежегодный рост числа аварий, экологическое загрязнение местности, снижение производительности и рост затрат (при всё растущем числе публикаций о надежности горных машин, что конечно смешно). Учащаются и слу-

чаи гибели персонала (на общем фоне снижения качества его здоровья - в частности, функции адаптации).

На рисунках 1 и 2, для иллюстрации, представлены наглядные примеры разрушений производственных активов. Показанные изломы основных металлоконструкций машин для открытых горных работ.



Рис. 1 Деформация верхнего пояса стрелы ЭРП-1600



Рис. 2 Излом двуногой стойки ЭКГ-10

Очевидно, что так дальше жить нельзя. Ибо это противоречит как ряду федеральных законов, так и экономическим задачам собственников наших предприятий. Противоречит это и простым человеческим представлениям о добре и зле.

Для полного и удовлетворительного решения описанной многофакторной проблемы необходимы многолетние усилия многих организаций и специалистов. Очевидно, что авторы настоящей работы не способны снять эту проблему в одиночку. Однако любая дорога начинается с первого шага. Именно он и описывается далее в настоящем тексте.

**Основной текст.** Авторами настоящей работы был выполнен анализ отказов на ряде отечественных разрезов за несколько последних лет. При этом авторы анализировали распределение времени отказов по времени их появления за сутки, а также изучали вопрос о том, какое время на устранение отказов требуется (все это было выполнено для годового интервала).

При этом было установлено, что в ряде случаев имеется тенденция к росту числа аварий и снижению производительности (и росту затрат). Причем, это особенно сильно видно при анализе состояния несущих металлоконструкций карьерных экскаваторов (характеризующие это рисунки сейчас не приводим).

На рисунке 3 приведена одна из полученных нами частотных диаграмм по распределению отказов по времени суток - для ночной смены на одном из разрезов.

Заметим, что на рисунке 3 цифра 1 по оси абсцисс это временной интервал от 19 до 20 часов вечера, цифра 2 - это временной интервал от 20 до

21 часа вечера и т.д. По оси ординат откладывается число отказов в часовой промежуток (смены двенадцатичасовые).

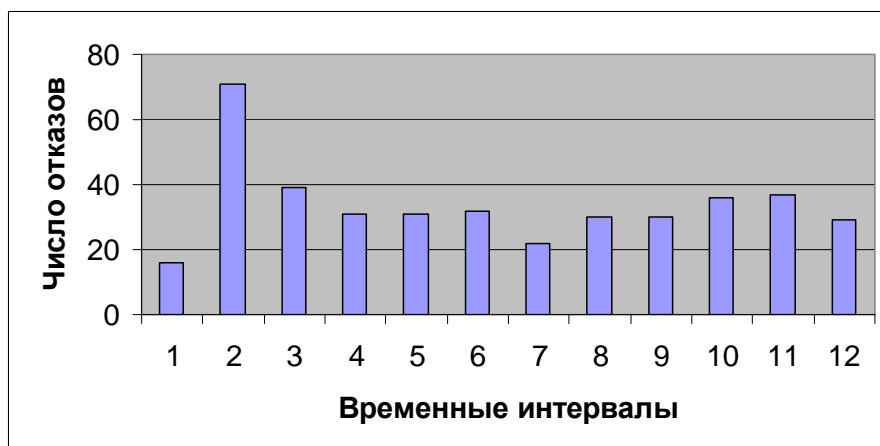


Рис. 3 Частотная диаграмма для ночной смены

Данные графики были подвергнуты нами специальной обработке с помощью средств математического пакета MATLAB.

Иными словами, отталкиваясь от частотного графика 3 (используем сейчас только его, для примера), мы сначала строим полигон частот  $\varphi(x)$  – ломанную, соединяющую верхние грани прямоугольников, образующих частотную диаграмму (рис. 4).

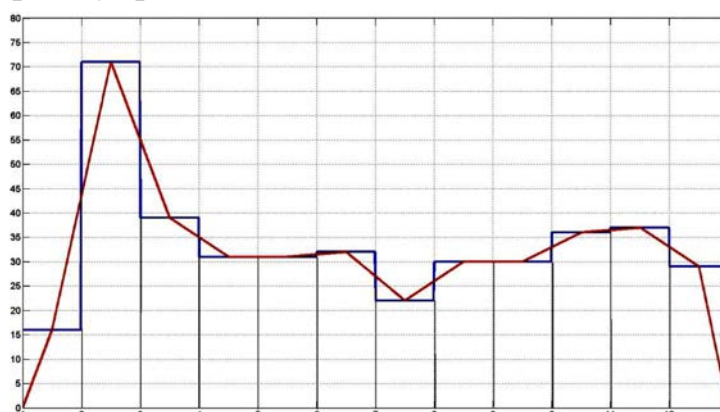


Рис. 4 Полигон частот

Далее мы производим обработку полученной кусочно-гладкой функции  $\varphi(x)$  и, с помощью инструментов среды MATLAB, получаем её представление в виде суммы гармоник:

$$f(x) = \frac{1}{2} \cdot 65,4583 + \left( 1,0362 \cdot 10^{-15} \cdot \cos\left(\frac{\pi x}{12}\right) + 3,227 \cdot 10^{-14} \cdot \sin\left(\frac{\pi x}{12}\right) \right) + \\ + \left( 2,7234 \cdot \cos\left(\frac{2\pi x}{12}\right) + 4,5343 \cdot \sin\left(\frac{2\pi x}{12}\right) \right) + \\ + \left( -2,8126 \cdot 10^{-15} \cdot \cos\left(\frac{3\pi x}{12}\right) + 5,3291 \cdot 10^{-15} \cdot \sin\left(\frac{3\pi x}{12}\right) \right) + \dots$$

После этого в наших руках оказываются графики сумм первых 10 и 20 членов полученного ряда (они показаны на рис. 5 и рис. 6).

Таким образом, на основании проведенной нами работы и разработанной программы было определено, что желаемое число гармоник при обработке подобных графиков не должно быть менее 20. При этом относительная погрешность составляет 0,3%.

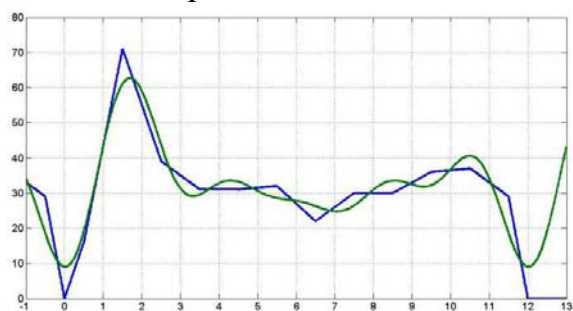


Рис. 5 Сумма  $N$  членов ряда при  $N = 10$

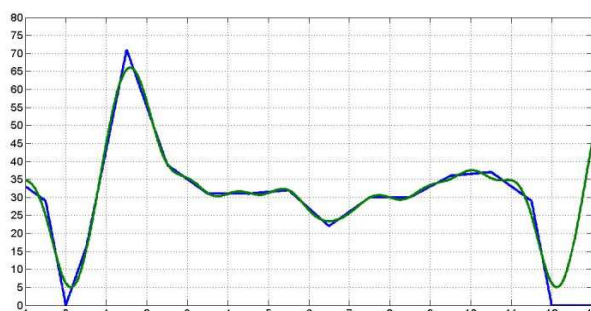


Рис. 6 Сумма  $N$  членов ряда при  $N = 20$

Кроме графиков, иллюстрированных рисунком 3, мы получили еще один - частотное распределение времени потребного на устранение отказа (рис. 7). Эти графики также подвергаются анализу с помощью разработанного нами подхода.

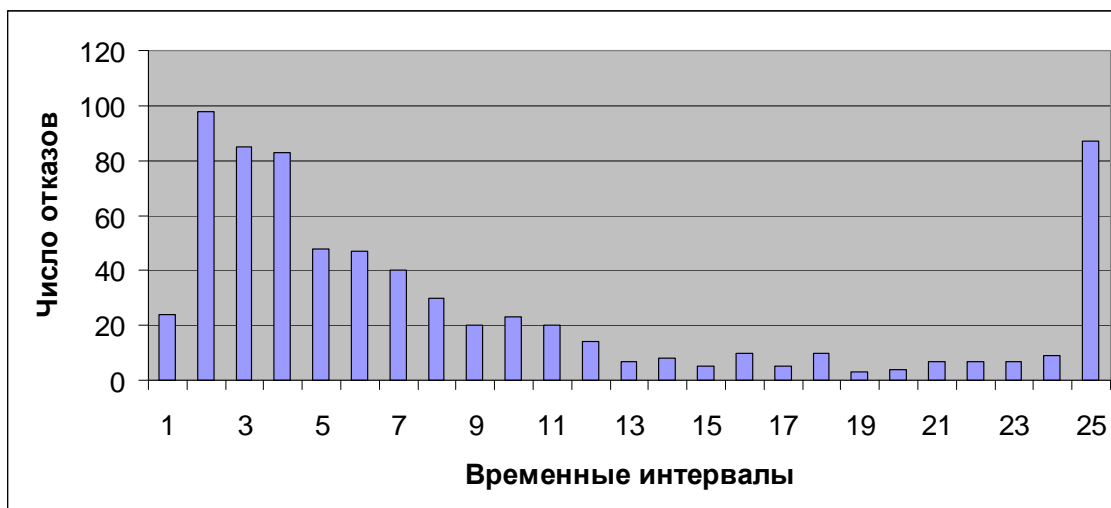


Рис. 7 Частотное распределение времени устранения единичного отказа

Заметим, что на рисунке 7 цифра 1 по оси абсцисс это временной интервал от 0 до 1 часа на устранение отказа, цифра 2 - это временной интервал от 1 до 2 часов на устранение отказа и т.д. (крайний справа интервал указывает все отказы со временем устранения более суток) По оси ординат откладывается число отказов в часовой промежуток.

Внимательный взгляд на графики 3 и 7 (и на их обработанные аналоги) позволяет заметить, что площадь этих графиков есть мера энтропии - то бишь состояния (порядка) ремонтных служб предприятия - и чем меньше площадь этих графиков тем эффективнее работа этих служб. Очевидно, что устремляя ту или иную функцию, выражающую значение этой площа-

ди к нулю мы получаем оптимизационную задачу, которую из-за ограничения места сейчас формально не выписываем.

Необходимо отметить еще один важнейший факт - рассмотренные нами отказы имеют четкую ритмическую структуру. И эта структура достаточно хорошо стыкуется с данными о биоритмах человека.

На основании как отмеченной связи ритмов машин и людей, так и решая задачу оптимизации, мы можем строить эффективные схемы снижения аварийности на горных предприятиях России и в мире.

**Заключение.** В настоящей работе её авторами сформулирована важнейшая и еще мало разрешенная проблема о снижении числа отказов при эксплуатации горных машин вышедших за срок проектной эксплуатации (и тем самым о снижении затрат и обеспечении потребной разрезам производительности).

На первом шаге работы по снятию этой проблемы авторами получены следующие основные выводы:

- выявлен рост числа отказов на ряде отечественных разрезов у машин находящихся на границе срока проектной эксплуатации или уже вышедших за нее;
- на одном из разрезов выявлена ритмическая природа появления отказов - качественно одинаковая для дневной и ночной смен (ночью число отказов больше);
- основное число отказов приходится на второй час от начала каждой из смен. Второй (но меньший) экстремум наблюдается за час до конца каждой из смен;
- данные ритмы достаточно неплохо стыкуются с известными биоритмами человека. Очевидно, что последние руководством разреза не учитываются, что конечно методически не верно;
- частотные графики вполне удачно могут быть обработаны средствами гармонического анализа. Это, в свою очередь, позволяет осуществлять как дальнейшие статистические исследования, так и использовать площадь под этими графиками для постановки и решения оптимизационной задачи;
- указанная оптимизационная задача сводится к устремлению к нулю некоторых функций описывающих площадь под этими графиками и позволяет назвать эту площадь энтропией - мерой порядка, с помощью которой мы можем оценивать эффективность работы ремонтных служб разрезов. Дополнительно появляется возможность построения различных схем для увеличения производительности и снижения числа отказов (и финансовых потерь);
- исходя из анализа рисунка 7 и ему подобных, можно отметить, что чаще всего устранение отказа занимает до 8 часов времени (отдельные частные нюансы при этом мы сейчас не указываем, так как для обобщений пока не хватает данных). Кроме этого, значительно число случаев, когда время устранения единичного отказа выходит за пределы суток. Исходя из такого

рода информации, можно выбирать различные схемы организации ремонтных процедур, позволяющих снижать число отказов;  
- на основании графиков на рисунке 7, может быть введена классификация отказов.

Подчеркнем дополнительно, что желаемое число гармоник при обработке графиков подобным представленным на рисунках 3 и 7 не должно быть менее 20. При этом относительная погрешность составляет 0,3 %.

### **Список литературы**

1. Брусова О.М., Лагунова Ю.А. Влияние коэффициента готовности на структуру ремонтного цикла дробильного оборудования. Эффективность молотковых дробилок: Отдельные статьи Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала). – 2012. - № 1. – С. 3-6.
2. Лагунова Ю.А., Вяткин А.В., Ищенко Б.М. Опыт эксплуатации опорной базы шагающих драглайнов // Горное оборудование и электромеханика. - № 1. – 2013. – С. 7-10.
3. Лагунова Ю. А., Комиссаров А.П., Шестаков В.С. Машиностроение. Энциклопедия. Т. IV-24. Горные машины. М.: Машиностроение. Т. IV-24. - 2011.

УДК 621.879.3

## РАЗВИТИЕ ИНЖЕНЕРНОГО ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ КОНЦЕНТРАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ В МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЯХ ЭКСКАВАТОРОВ - ДРАГЛАЙНОВ

Побегайло П.А.<sup>1</sup>, с.н.с., к.т.н.; Крицкий Д.Ю.<sup>2</sup> инженер

<sup>1</sup> - ИМАШ им. А.А. Благонравова РАН, Москва, РФ;

<sup>2</sup> - АО "СУЭК-КРАСНОЯРСК", Красноярск, РФ

*Представлены новые полученные ими результаты по вопросу создания и развития инженерного подхода, к оценке концентраторов напряжения в металлоконструкциях экскаваторов драглайнов, удобного для применения в системе экспресс - диагностики состояния таких машин. Основным результатом этой работы является вывод о том, что оценка значения теоретического коэффициента концентрации для угловых швов металлоконструкций стрелы экскаватора ЭШ-10/70А в эксплуатационных условиях может быть произведена по формуле Афанасьева.*

**Ключевые слова:** *одноковшовые экскаваторы драглайны; концентраторы напряжения; металлоконструкции экскаваторов; системы экспресс - диагностики*

### DEVELOPMENT OF AN ENGINEERING APPROACH TO EVALUATION VOLTAGE CONCENTRATORS IN METAL STRUCTURES OF DRAGLINE EXCAVATORS

Pobegailo P.A., Kritckij D.Y.

*In the present work, its authors present the new results they obtained on the creation and development of an engineering approach to the assessment of stress concentrators in the metal structures of dragline excavators, convenient for use in the express diagnostics system of the condition of such machines. The main result of this work is the conclusion that the value of the theoretical concentration coefficient for the fillet weld metal structures of the boom of the excavator EH-10/70A under operating conditions can be estimated using the Afanasyev formula*

**Keywords:** *excavators draglines; stress raisers; metal shovels; system of Express - diagnostics*

**Введение.** Принципиальной особенностью одноковшовых экскаваторов драглайнов является наличие в их конструкции большего числа сварных металлоконструкций. Это сопряжено с наличием в них локальных участков с повышенной концентрацией напряжений, причём основным местом сосредоточений концентрации напряжений выступают именно сварные швы. Такие сварные швы существенным образом подвергаются усталостным разрушениям (тем более, что при работе драглайна они подвергаются действию знакопеременных нагрузок).

В общем случае концентрация напряжения может быть охарактеризована теоретическим коэффициентом концентрации [1 и др.] (а также эффективным коэффициентом концентрации, который мы в этой работе более упоминать не будем).

Отношение максимального напряжения в зоне концентрации напряжений к номинальному напряжению детали при упругой деформации, при допущении, что материал отвечает условиям сплошной однородной среды и есть теоретический коэффициент концентрации напряжений (ТКК)  $\alpha_c$  [1 и многие др.].



Чуть менее ста лет назад появились первые работы по исследованию различных вопросов связанных с концентрацией напряжений. В число исследователей тогда и позднее входили и входят: Афанасьев Н.Н., Бакши О.А., Бельчук Г.А., Винокуров В.А., Данилов С.А., Зайцев Н.А., Карнахин В.А., Кархин В.В., Клыков В.А., Когаев В.П., Копельман Л.А., Лейкин А.С., Макаров И.И., Мусхелишвили Н.Н., Навроцкий Д.И., Нейбер Г., Николаев Г.А., Одинг И.А., Окумура Т., Попкович П.Ф., Петерсон Р., Прокофьева-Михайловская Л.Э., Рыбин Ю.И., Савин Г.Н., Серенко А.Н., Солокиан А., Труфяков В.И., Турмов Г.П., Форрестер П., Харикава К., Шиманский Ю.А., Шнейдерович Р.М., Шрон Л.Б., Эндо Исира и др. В области строительных и дорожных машин определенный вклад в эти исследования внесены Ряхиным В.А. и его учениками.

В работах указанных авторов были предложены различные выражения для определения ТКК напряжений. Все эти формулы носят приблизительный характер, содержат большое число различных допущений и применимы в достаточно узких пределах. При этом для одного и того же типа сварного шва имеется обычно несколько формул, и далеко не всегда ясно какой из них лучше пользоваться в конкретном случае.

Отметим при этом, что упование в наше время на метод конечных элементов, современные компьютеры и привлечение ученых академии наук для условий эксплуатирующей организации фантастичны и не выполнимы. Вопросы же оценки состояния несущих металлоконструкций экскаваторов драглайнов - пусть даже и в несколько приближенном виде - требуют разрешения сейчас, на месте, быстро и собственными силами. Остро ощущается необходимость в автоматизированных методах экспресс-диагностики состыкованных с методами неразрушающего контроля.

Отсюда вытекает основная задача запланированного авторами цикла работ – разобраться, в каких условиях и границах применима та или иная формула оценки ТКК, какая формула эффективнее и точнее для горных машин, в частности, для драглайнов. Естественно, что это будет сопряжено с разработкой соответствующего программного обеспечения и синтезом научно обоснованной методологии выбора и применения методов неразрушающего контроля.

**Основной текст. Теория.** В настоящей скромной работе её авторы представляют лишь некоторые полученные ими результаты, и касаются они только угловых швов. В качестве образца для исследования авторами выбран экскаватор драглайн ЭШ-10/70А из-за их большего количества и распространенности в СССР, что позволило одному из авторов работы получить необходимые исходные данные для проведения настоящего исследования.

Отметим, что при формировании блока исходных данных нами рассматривались сварные швы металлоконструкции стрелы, в которых наблюдалось появления трещин. Определение геометрических параметров сварных швов проводилось по стандартной методике [1 и др.].

Заметим, что нами, в настоящей работе, рассматриваются только две возможные формулы для оценки ТКК: формула Афанасьева (1) и формула Николаева (2). Они имеют следующий вид [1 - 3 и др.]:

$$\alpha_{\sigma} = 1,6 - 0,2 \cdot \alpha + \frac{1}{7 \cdot \sqrt{\alpha^3} \cdot \left(1 + \frac{1}{\varphi}\right) + 0,4 \cdot \sqrt[3]{\alpha}}, \quad (1),$$

и

$$\alpha_{\sigma} = 1 + 0,18 \cdot \left(\frac{\delta}{\rho}\right)^{0,66}, \quad (2),$$

где  $\alpha = \frac{\rho}{\delta}$  и  $\varphi = \frac{t}{\delta}$ , и в свою очередь:  $\delta$  - толщина привариваемого металла;  $\rho$  - радиус перехода;  $t$  - толщина основного металла.

Естественно, что значения ТКК определяются для каждого сечения слепка, снятого с данного образца шва (ибо - каждый участок сварочного шва характеризуется своими геометрическими размерами). В результате мы имеем некоторое случайное распределение ТКК требующих статистической обработки. При этом объем выборки у нас малый ( $N < 50$ ).

Опираясь на работы [4, 5 и мн. др.] мы сейчас определяем:

- выборочное среднее значение -  $\bar{m}_{\alpha_{\sigma}}$  ;
- выборочную дисперсию -  $D^2$  ;
- выборочное среднее квадратичное отклонение -  $D$  ;
- выборочный коэффициент вариации -  $\nu$  ;
- границы доверительного интервала;
- значения накопленной частности;
- параметры графика эмпирической функции распределения на нормальной вероятностной сетке;
- границы доверительных интервалов для квантилей;
- величины ошибок, связанных с объемом имеющегося и потребной выборки.

Заметим, что вычисление выборочных моментов третьего и четвертого порядка при нашем объеме выборки нецелесообразно [4, 5 и др.]. При этом, в предположении нормального закона распределения в нашей задаче, полученные нами оценки являются состоятельными, эффективными и несмещенными.

**Основной текст. Пример.** В качестве иллюстрации к исполненному нами исследованию мы сейчас остановимся лишь на одном угловом сварном шве по накладке под кронштейн на верхней секции нижнего пояса стрелы (ручная сварка). Объем выборки - сорок девять (малая выборка). Заметим при этом, что и для иных подобных швов нами получены схожие результаты.

Итак. На рисунке 1 представлен характер изменения ТКК вычисленных по формуле (1). Рисунок с характером изменения ТКК вычисленных по формуле (2) сейчас не приводим.

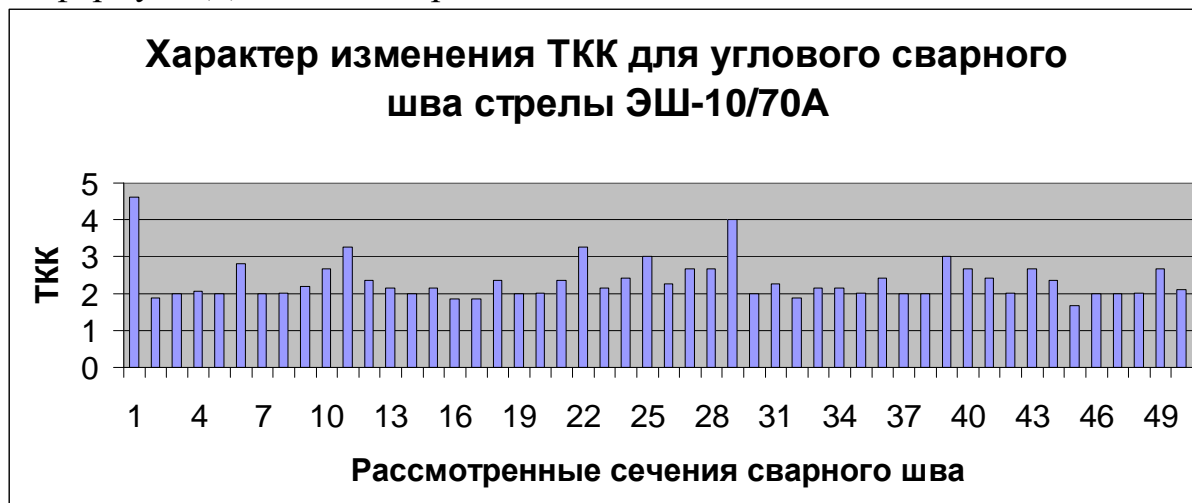


Рис. 1 Характер изменения ТКК, полученных по формуле (1)

Также отметим, что для рассматриваемого углового шва, значение ТКК, определенные по формуле (1), находятся в интервале 1,664 - 4,620, а по формуле (2) в интервале 1,284 - 2,300.

При этом ТКК, полученные по формуле (1), характеризуются следующими статистическими оценками:  $\bar{m}_{\alpha_s} = 2,346$  и  $D^2 = 0,302$ ,  $D = 0,550$  и  $\nu = 0,234$ . А, ТКК полученные по формуле (2), характеризуются такими значениями этих же оценок:  $\bar{m}_{\alpha_s} = 1,582$  и  $D^2 = 0,036$ ,  $D = 0,190$  и  $\nu = 0,120$ .

90%-ый доверительный интервал для генерального среднего при неизвестной дисперсии при известных выборочных характеристиках для ряда данных, полученных по формуле (1), таков:  $2,217 < a < 2,475$ ; а для ряда данных, полученных по формуле (2), таков:  $1,537 < a < 1,627$ .

Функция распределения для ТКК, полученных по формуле (1), представлена на рисунке 2. Функция распределения для ТКК, полученных по формуле (2), сейчас не приводится.

ТКК по формуле (2) по сравнению с ТКК по формуле (1) имеет меньшие значения и меньший разброс. Однако этого можно было ожидать, т.к. на материале строительных и дорожных машин, представленных в монографии [1], наблюдается схожая качественно картина.

Основываясь на нашем личном опыте, в рассмотренном нами сейчас случае, стоит ориентироваться на значения ТКК даваемые формулой (1). При этом из системы экспресс - диагностики формулу (2) исключать не рекомендуется, т.к. в ряде иных случаев именно она, по-видимому, будет давать более точные результаты.

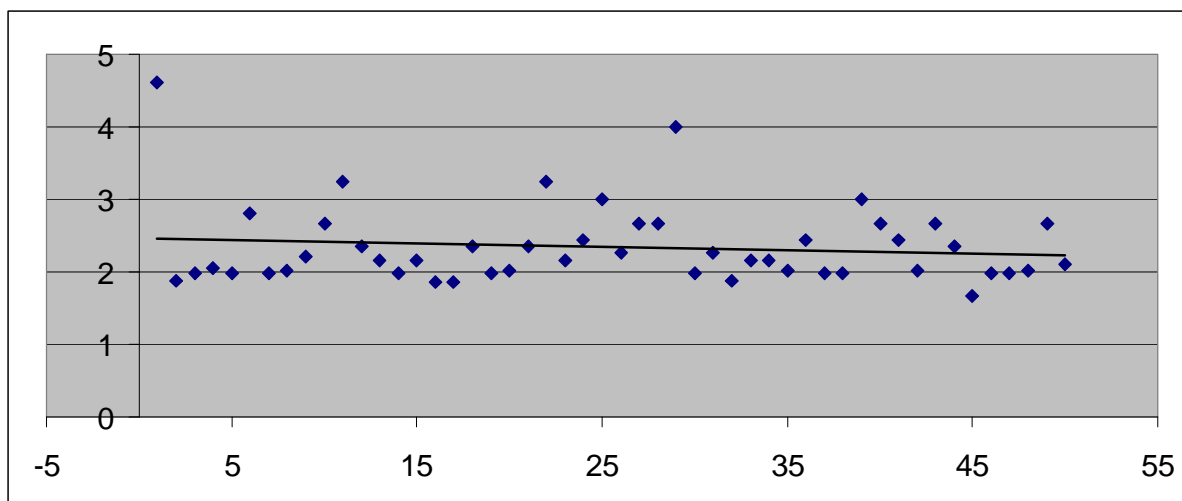


Рис. 2 Функции распределения ТКК углового сварного шва (формула (1)) {доверительная область не показана}

В завершении раздела подчеркнем, что как отличия в значениях ТКК у разных авторов, так и некоторое отклонение от этих значений для металлоконструкций экскаваторов драглайнов дополнительно подчеркивает необходимость дальнейшего развития и углубления сформулированной в настоящей работе проблематики.

**Заключение.** Оценка значения ТКК для угловых швов стрелы экскаватора драглайна в эксплуатационных условиях может быть произведена по различным формулам, например, по формулам Афанасьева и Николаева.

При сегодняшнем уровне наших знаний, и с учётом того, что цикл наших исследований еще не завершен, можно рекомендовать ориентироваться в системе экспресс - диагностики оценки состояния драглайнов на формулу Афанасьева (в первую очередь для угловых швов стрелы экскаваторов драглайнов ЭШ-10/70А). При этом исключать из системы экспресс - диагностики формулу Николаева нельзя.

Также полезно помнить, что применение автоматической сварки позволяет получать более стабильные геометрические параметры сварных швов по их длине, меньший разброс и меньшие значения ТКК по сравнению с ТКК швов полученных ручной сваркой.

В дальнейшем мы планируем дополнить настоящее исследование рассмотрением как иных формул, так и иных типов сварных швов и типов стрел (при существенном росте объема выборки и применении более точных методов оценивания, связывая их с оценкой ресурса), что несомненно скорректирует полученные сегодня результаты).

Также в дальнейшем мы планируем - при получении выборок большего объема - все основные соотношения геометрических размеров разбивать на группы, что связано с большим разбросом геометрических параметров сварного шва.

В целом же, снижение ТКК для угловых швов может быть получено за счёт увеличения радиуса перехода к основному металлу и установления оптимального соотношения толщины основного металла и толщины привариваемого металла.

Проведенная нами работа показала принципиальную возможность установления ТКК, использование которых в системе экспресс - диагностики позволит повысить надёжность металлоконструкций, а дальнейшее изучение влияния методов и режимов сварки на характер распределения ТКК позволит выбрать оптимальные из них, которые обеспечат снижение значения и области их разброса.

Отметим, что настоящее исследование может быть полезным и для проектировщиков экскаваторов драглайнов, т.к. ТКК существенно влияют на расчёты металлоконструкций [1 - 3, 6 - 8 и мн. др.].

В нашей работе [9] можно найти другие исследования, выполненные в рамках рассматриваемой проблематики.

### **Список литературы**

1. Мошкарёв Г.Н., Ряхин В.А. Долговечность и устойчивость сварных конструкций строительных и дорожных машин. М.: Машиностроение, 1984. 232 с.
2. Афанасьев Н.Н. Статистическая теория усталостной прочности металлов. Киев, Изд-во АН УССР, 1953, 128 с.
3. Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х т. / Редкол.: Г.А. Николаев (пред.) и др. - М.: Машиностроение, 1979 - т. 3 / Под ред. В.А. Винокурова. 1979. 567 с.
4. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969. 576 с.
5. Степнов М.Н. Вероятностные методы оценки характеристик механических свойств материалов и несущей способности элементов конструкций. Новосибирск: Наука, 2005. 342 с.
6. Когаев В.П. Расчёты на прочность при напряжениях, переменных во времени. М.: Машиностроение, 1977. 232 с.
7. Шнейдерович Р.М. Прочность при статическом и повторно-статическом нагружениях. М.: Машиностроение, 1968. 343 с.
8. Лейкин А.С. Напряженность и выносливость деталей сложной конфигурации. М.: Машиностроение, 1968. 372 с.
9. Побегайло П.А., Крицкий Д.Ю. Элементы системы экспресс диагностики состояния карьерных экскаваторов в условиях эксплуатации: блок оценки концентраторов напряжений в металлоконструкциях со стыковыми швами // ГИАБ. 2018. S.50. с. 216—229. DOI: [10.25018/0236-1493-2018-12-50-216-229](https://doi.org/10.25018/0236-1493-2018-12-50-216-229)

УДК 621.879.3

## ОБЗОР ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА РАЗВИТИЕ РЫНКА РЕМОНТА ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Рудоискатель В.В.<sup>1</sup>, главный инженер КБГМ,

<sup>1</sup> - ООО «Конструкторское бюро горного машиностроения», г. Екатеринбург, РФ

*В статье приводятся результаты исследования рынка технического сервиса машин и оборудования горнодобывающего сектора. Рассматриваются основные факторы, влияющие на принятие решения о проведении ремонтных работ.*

*Ключевые слова:* рынок сервисного обслуживания, горнодобывающие машины и оборудование, кластер

## OVERVIEW OF FACTORS WAGGING ON THE DEVELOPMENT OF THE MINING EQUIPMENT REPAIR MARKET

Rudoiskatel V. V.

*The article presents the results of a study of the market for technical maintenance of machinery and equipment in the mining sector. The main factors influencing the decision on repair work are considered.*

Планирование ремонтных работ горной техники и формирование закупки запасных частей требует особого подхода, цель которого – снизить излишние затраты и при этом не допустить срыва плана, установленного на предприятии и аварийных остановок машин. Имея значительный опыт в проведении ремонтных работ горной техники, проведя множество переговоров, как с линейными механиками, так и с руководителями карьеров и горных предприятий, мы подготовили анализ тенденций, которые сложились в последнее время при планировании ремонтных работ и формировании планов закупки запасных частей. Анализ поможет грамотно распределить финансы и производственные ресурсы при планировании необходимых ремонтных работ.

Повсеместное стремление к оптимизации производственных затрат привело к тому, что эксплуатация оборудования ведется до аварийной остановки с игнорированием рекомендаций заводов-изготовителей. Этим грешат и щёбёночные предприятия, и крупные холдинги. Очевидно, что высокая конкуренция, нестабильные рыночные цены на энергоносители, а особенно это касается угольной промышленности, требует от предприятий постоянного мониторинга затрат, которые можно сократить или отложить на определенное время. Однако подобный подход, как правило, не имеет под собой экономического обоснования. Для эффективной работы, в первую очередь, необходима слаженная работа всех служб и подразделений предприятия.

**Разные службы на предприятиях очень часто имеют разную мотивацию.**

У **производственных подразделений** это, прежде всего, необходимость выполнения плана по горной массе.

У **службы закупок** отсутствует бюджет на формирование достаточного количества запасных частей на складе, что приводит к отсутствию запчастей «в моменте».

Основная задача **финансовых служб** – сокращение всех возможных затрат для обеспечения заданной прибыльности предприятия.

У **службы продаж** превалирует необходимость своевременного обеспечения отгрузки и поступления денежных средств.

В результате получается, как в басне про лебедя, рака и щуку – вместо слаженной работы всех служб предприятия, каждая из них в отдельности старается выполнить исключительно свою задачу, а не работает на общий конечный результат. На это накладываются другие проблемы, с которыми сталкиваются многие отрасли, и не только горная промышленность:

- отсутствие специалистов, конгломерата технических и экономических кадров, которые способны грамотно обосновать и доказать необходимость тех или иных мероприятий;

- хроническое отсутствие свободных денежных средств для формирования фонда ремонтных мероприятий, из которого можно было бы финансировать ремонтные работы в периоды, когда объемы производства падают по внешним рыночным причинам, и техника временно выводится из эксплуатации;

- отсутствие документации и инструкций по эксплуатации на многие виды оборудования.

### **Причины и пути решения проблем**

Чтобы более подробно углубиться в причины возникающих проблем и подумать над путями их решения, которые могли бы устроить как непосредственных исполнителей, так и топ-менеджмент, а также собственников предприятий, рассмотрим каждую причину в отдельности.

Любому добывающему предприятию устанавливается план производства, т. е. объем добычи горной массы. Этот план может не учитывать технологические особенности производства и рассчитывается исходя из паспортного «КТГ» оборудования без учета технологических особенностей производства (перегоны из-под взрыва, перемещение с горизонта на горизонт, переключения по электрической части, аварийные остановы и остановы на ТО и др.).

Соответственно, руководители подразделения вынуждены выбирать между срывом плана производства и необходимостью останова работающей машины на 8-12 часов для проведения технического обслуживания согласно рекомендациям завода изготовителя (смазка, проверка и регулировка узлов, контроль технического состояния (степени износа) узлов и агрегатов и т. д.). При этом, они рассчитывают на надежность машины, т. е. банально удлиняют межсервисный (межремонтный) интервал, что в конечном итоге приводит к отказу узлов оборудования.

Отсутствие средств, т. е. фондов на приобретение запасных частей, вынуждает предприятия идти двумя путями:

Отказ от плановых ремонтов и замены деталей согласно рекомендациям заводов изготовителей.

Приобретение запасных частей на тендерной основе по принципу минимальной стоимости.

Запасные части по минимальной стоимости – тоже своеобразная составляющая рынка. Как правило, изготовитель лукавит, указывая номер чертежа оригинальной детали, но производя её из другого материала, изменяя тип заготовки, упрощая технологический процесс. В конечном итоге это неизбежно ведет к снижению ресурса детали.

Оба пути ведут к одному результату – аварийному останovu машины.

**Две основных проблемы:**

**Отсутствие специалистов**

Оптимизация производственных процессов привело к тому, что многие предприятия сократили службы главных механиков и, при наступлении времени ремонта, начинается поиск подрядной организации для выполнения тех работ, которые 20 лет назад проводились своими силами. Но проблема еще и в том, что, как правило, для выполнения работ объявляют конкурс и предложения сравниваются по минимальной цене.

Очень часто подрядчики производят расценку исходя из технического задания заказчика, в котором зачастую указаны лишь поверхностные причины неисправностей – глобальной диагностики никто не производит.

В результате, работы выполняются без устранения всех недостатков узла, и межремонтный цикл снижается.

Примеров тому масса: это и выполнение работ по замене рельса кольцевого без ревизии высоковольтного токоприемника, без ревизии узла центральной цапфы, замена втулок ведущего вала гусеничной рамы без восстановления геометрии отверстия под втулку, предварительная проточка втулки для облегчения посадки втулки и т. д.

**Отсутствие документации**

На многих предприятиях эксплуатируется оборудование, срок службы которого значительно превышает 20-30 лет. Оборудование выпускалось в СССР, и сейчас данный завод либо закрыт, либо располагается за границей. Запасные части отсутствуют либо стоят космически дорого, и эксплуатирующая организация встает перед выбором – затевать глобальную модернизацию с заменой оборудования (которое прекрасно справляется со своими задачами) или проводить восстановительный ремонт.

Получить конструкторскую документацию с завода изготовителя в настоящий момент практически невозможно. Остается только один путь решения данной задачи – разборка узла, снятие размеров с изношенной детали и, исходя из опыта проектирования либо ремонта подобных узлов, разработка ремонтной документации, по которой будут изготавливаться необходимые детали. С такой проблемой очень часто сталкиваются пред-



приятия, эксплуатирующие мельницы, дробилки, экскаваторы и другое оборудование производства зарубежных стран (полное отсутствие документации с указанием линейных размеров и допусков на посадки) и т. д.

### **Оптимальное решение для обеспечения эффективной работы вашего предприятия**

Конструкторское бюро горного машиностроения при разработке конструкторской документации и изготовлении деталей ориентируется, согласно рекомендациям заводов-изготовителей, в первую очередь, на аналогичного рода детали. В том числе, при проектировании абсолютно новых машин и механизмов, применяются наиболее подходящие материалы и технологии изготовления – как отечественных производителей, так и зарубежных компаний.

В рамках импортозамещения, конструкторское бюро на регулярной основе выпускает конструкторскую документацию, изготавливает оборудование и ЗИП, методом обратного инжиниринга на многие типы оборудования известных мировых брендов.

Качество выпускаемых аналогов продукции не хуже, а во многих случаях превышает качество продукции заводов-изготовителей.

Информация о новых освоенных видах продукции регулярно размещается на информационном сайте компании в сети интернет по адресу [www.kbgm.ru](http://www.kbgm.ru) в соответствующих разделах.

В лице нашей компании вы найдете профессионального партнера, готового предложить вам различные решения в горнодобывающей промышленности – как в области проектирования и поставки оборудования, так и в области ремонта, монтажных и пусконаладочных работ. Специалисты компании имеют большой опыт работы и аттестованы по всем соответствующим допускам для совершения необходимых работ.

УДК 621.3.019

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА**

**Малыбаев Н.С., к.т.н., доцент, Ибраева Н.Р., Акбасов Е.Б.**

Карагандинский Государственный Технический Университет, г.Караганда, Казахстан

*Обеспечения высокой производительностью проходки подготовительных горных выработок невозможно осуществить без оборудования, обладающего высокой эксплуатационной надежностью и долговечной работоспособностью. Время простоев горного оборудования вызвано возникновением отказов и низким технологическим уровнем технического обслуживания. Одним из направлений решения задачи повышения качества ремонта и технического обслуживания на основан на знании фактического технического состояния отдельных узлов и агрегатов. Правильное и системное применение диагностики и индивидуального подхода ТОиР ПК и другого горного оборудования.*

***Ключевые слова:** проходческий комбайн, анализ работы, горные машины, надежность, техническое обслуживание.*

## **A STUDY OF THE TECHNICAL CHARACTERISTICS AND IMPROVING THE RELIABILITY OF A TUNNELING MACHINE**

**Malybaev N. S., Ibraeva N. R., Akbasov E. B.**

*It is impossible to ensure high productivity of the preparatory mining workings without equipment that has high operational reliability and long-term performance. Downtime of mining equipment is caused by failures and low technological level of maintenance. One of the ways to solve the problem of improving the quality of repair and maintenance is based on knowledge of the actual technical condition of individual units and units. Correct and systematic application of diagnostics and individual approach to the PC maintenance and other mining equipment.*

***Keywords:** tunneling combine, work analysis, mining machines, reliability, maintenance.*

### **Введение**

Горное оборудование, работая на открытых и подземных разработках эксплуатируют, как известно, в тяжелых условиях. Особенное содержание таких оборудований и актуальное проведение предупредительных мер по предупреждению поломки горных машин и оборудования дает надежную работу и эксплуатацию машин.

Эксплуатация горных машин на предприятии указывает, что надежность горного оборудования пока недостаточна и во многом зависит от горнотехнических, организационных, погодно-климатических и эксплуатационных условий.

Для повышения надежности проходческих комбайнов необходимо применять оперативную диагностику технического состояния привода исполнительного органа и регулярно проводить диагностики работоспособности всех узлов ПК. Так как при эксплуатации ПК оборудование подвергается к абсолютно разным воздействиям и видом нагрузок, которые могут носить в себе разные степени воздействий на конструкцию с дальнейшими изменениями, что может привести к структурным изменениям (поломке). Износ деталей является еще одним фактором снижения работоспособности

оборудования и многие другие воздействия со стороны погодноклиматических условий.

При повышении надежности проходческого комбайна нужно учитывать, что оборудование состоит из разных объединяющих ресурсов работы, который в свою очередь приводит к четкой и точной разработке диагностики для повышения надежности и повышения работоспособности рабочего органа и в целом оборудования. В повышении надежности ПК может так же применяться системный подход, но нужно учитывать и такие факторы как случайность событий, автоматическое воздействие на оборудование и т.д.

Для определения технического состояния ПК на момент обследования более подступают контроль состава вещества и вибродиагностика - многофункциональные способы контроля. Применение систем контроля позволит находить недостатки на этапе их зарождения и не останавливать машину на планово-предупредительный ремонт, что позволит сэкономить огромные средства и повысить надежность работы оборудования.

Надежностью является способность объекта сохранять первоначальные свойства, необходимые для бесперебойной и длительной работы в заданных условиях. Но при эксплуатации в условиях горных работ ПК выявились проблемы, связанные с низкой наработкой на отказ и длительными простоями из-за выхода из строя основных узлов комбайна. Это в основном связано с поломками гидравлической и электрической системой.

Элементы этих проблем обусловлены следующими факторами:

- неправильной эксплуатации проходческого комбайна;
- меры по ТОиР ПК
- механические повреждения элементов гидросистемы.

Решением этих проблем при появлении поломок и отказов на данном оборудовании может решаться следующими способами диагностирования (рис.1).



Рис. 1 Методы диагностирования горных машин

Используя современные методы диагностирования проходческих комбайнов, можно избежать серьезных проблем во время эксплуатации

оборудования. Диагностика машин приводит к сокращению поломок и повышается долговечность работы горных оборудований. Одной из немаловажной проблемой является одинаковый подход к ТОиР машин, что может привести к раннему отказу оборудования. Индивидуальный подход к каждой единице оборудования, такой подход будет более эффективнее и надежнее, так как проходческий комбайн работает в одной горно-геологической и в горнотехническом состоянии. В одной и то же наработке могут существенно отличаться причины отказа, поломки и в дальнейшем диагностики горного оборудования.

Диагностика проходческого оборудования обеспечит базу, где будут решены:

- 1.общее состояние оборудования;
- 2.предсказывать признаки повреждения всей системы;
- 3.повреждение конструктива оборудования;
- 4.прогноз дальнейшей работы горного оборудования;

#### Заключение

Технического состояния отдельных узлов и агрегатов проходческих комбайнов его техническое состояние является главным аспектом работоспособности оборудования, для повышения эффективности и безотказности использования проходческой техники является точная комплексная диагностика всего оборудования и индивидуальный подход ТОиР.

## **КАРЬЕРНЫЙ ТРАНСПОРТ И ТРАНСПОРТ НЕФТИ И ГАЗА**

***Чтоб дробилки не стояли,  
Чтобы фабрика жила,  
Чтобы нефть из дальней дали  
На заводы потекла,  
Чтобы газ был нам подмогой  
И в дома нёс благодать –  
Надо знать про транспорт много  
И уметь его создать!***

**Доц. П.А. Жиганов**

УДК 624.07

## ПОПЕРЕЧНЫЕ КОЛЕБАНИЯ КОНВЕЙЕРНОЙ ЛЕНТЫ

Кожушко Г.Г., проф., Лукашук М.Д., студент

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург

*Транспортировка сыпучих материалов с помощью ленточных конвейеров достигла такого уровня, что современные требования, предъявляемые современной промышленностью к достижению более высоких эксплуатационных характеристик, являются ограничением из-за того, что конструкторы машин не могут разрабатывать динамически стабильные конвейеры. Скорость ремня и его ширина являются двумя основными параметрами, которые могут обеспечить требуемую производительность. Целью данного исследования является изучение боковых колебаний конвейерной ленты. Оценка границ стабильной резонансной работы является важной предпосылкой для безотказной работы конвейера.*

**Ключевые слова:** ленточный конвейер, вибрация, роlikоопоры, краевая задача.

## TRANSVERSE VIBRATIONS OF CONVEYOR BELTS

Kozhushko G.G., Lukashuk M.D.

*Transporting bulk materials by means of belt conveyors has progressed up to the point when advanced requirements set by modern industry on achieving higher performance values are constraint due to the fact of machine designers not being able to develop dynamically stable conveyors. The speed of the belt and its width are two main parameters which could provide the required performance. The goal of this research is to study lateral vibrations of a conveyor belt. Assessing the boundaries of stable resonance work is a significant prerequisite for no-failure conveyor operation.*

**Keywords:** conveyor belt, vibration, roller bearings, boundary value problem.

Одной из основных задач современного транспортного машиностроения является увеличение производительности ленточных конвейеров за счет существенного увеличения скорости движения ленты без значительных изменений конструкции.

При определенной скорости, ширине и натяжении ремня наблюдается нестабильная поперечная вибрация. Вибрация с большей амплитудой может быть настолько сильной, что может снизить срок службы роlikовых подшипников конвейера из-за динамических нагрузок. Второй причиной появления поперечной вибрации ленты является неравномерное налипание транспортируемого материала на роlikоопоры.

Поперечные колебания конвейерных лент исследованы в различных аспектах [1-2].

Грузовая форма прогиба движущейся конвейерной ленты определяется выражением.

$$\frac{\partial^2 \omega}{\partial t^2} = \alpha \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} - \beta (1 + i\zeta) \frac{\partial^4 \omega}{\partial x^4} + g, \quad 0 \leq x \leq l, \quad 0 \leq t \leq \infty,$$

где  $\alpha = \frac{\bar{S}g}{q}$ ;  $\bar{S} = S - \frac{q}{g}V^2$ ;  $\beta = \frac{D_x g}{q}$ .

$\omega(x, t)$  – прогиб ленты в сечениях  $x$ ;  $S, V$  – натяжение ленты и скорость её движения соответственно;  $D_x$  – изгибная жесткость ленты;  $\zeta$  – приведенный коэффициент демпфирования;  $q(x, t)$  – линейная нагрузка на ленту

от собственного веса транспортируемого материала, в дальнейшем рассматривается как  $q(x, t) = const$ ;

$$i = \sqrt{-1};$$

$$g = 9,81 \text{ м/с}^2.$$

Критическая скорость движения ленты, при которой частота поперечных колебаний становится равной нулю:

$$V_{кр} = \sqrt{\frac{g}{q} \left( S + D_x \frac{\pi^2}{l^2} \right)}$$

При приближении скорости к критическому значению прогиба ленты становятся большими, и лента теряет свою работоспособность.

Решение краевой задачи (1), расчетная схема которой приведена на рис.1, будем искать в виде:

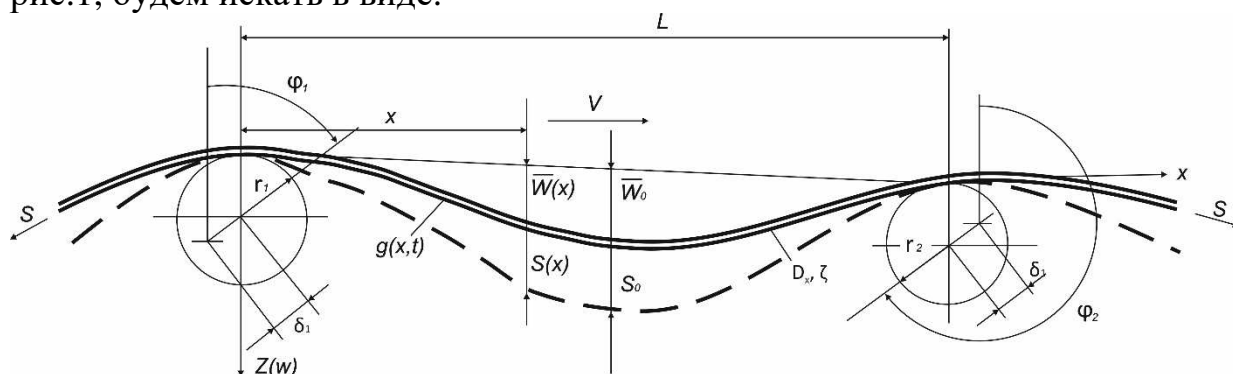


Рис.1. Расчетная схема к исследованию вынужденных поперечных колебаний конвейерной ленты, возбуждаемой через роlikоопоры

$$\omega(t, x) = \bar{\omega}(x) + \frac{l-x}{l} \delta_1 e^{i(\omega_1 t + \phi_1)} + \frac{x}{l} \delta_2 e^{i(\omega_2 t + \phi_2)} + \zeta(x, t),$$

После преобразований, описанных в работе [3] получим:

$$\zeta_1(t, x) = \sum_{i=1}^{\infty} \zeta_{1i} \cdot \varphi_i(x) \cdot e^{i\omega t}$$

Частоты возбуждения вынужденных колебаний на левой и правой опорах одинаковы, поскольку они определяются скоростью ленты:

$$\zeta_1 = \zeta_{11} \varphi_1(x) e^{i\omega t} = \frac{b_{1j} \delta_1 \omega^2}{\sqrt{(p_{2j} - \omega^2)^2 + p_{1j}^2}} \varphi_1 e^{i(\omega t + \theta_1)} \quad (1)$$

Точность определения перемещения ленты при использовании этой формулы увеличивается по мере приближения к резонансной частоте профиля гармоники  $\varphi_j(x)$ .

Положим теперь  $j=1, j=2$  и в ряде (7) оставим два первых члена (по индексу  $i$ ):

$$\left. \begin{aligned} -\omega^2 \zeta_{11} &= \alpha x_{11} \zeta_{11} + \alpha x_{21} \zeta_{12} - \beta(1+i\eta) \lambda_1^4 \zeta_{11} + b_{11} \delta_1 \omega^2 \\ -\omega^2 \zeta_{12} &= \alpha x_{12} \zeta_{11} + \alpha x_{22} \zeta_{12} - \beta(1+i\eta) \lambda_2^4 \zeta_{12} + b_{12} \delta_1 \omega^2 \end{aligned} \right\}$$

причем  $x_{12} = x_{21}$ .

$$\left. \begin{aligned} [(\beta\lambda_1^4 - \alpha x_{11}) - \omega^2 + i\beta\eta\lambda_1^4] \zeta_{11} - \alpha x_{21} \zeta_{12} &= b_{11} \delta_1 \omega^2; \\ -\alpha x_{12} \zeta_{11} + [(\beta\lambda_2^4 - \alpha x_{22}) - \omega^2 + i\beta\eta\lambda_2^4] \zeta_{12} &= b_{12} \delta_1 \omega^2 \end{aligned} \right\}$$

приходим к системе алгебраических уравнений:  
 $a_{11}\zeta_{11} + a_{12}\zeta_{12} = \xi_1$ ;  $a_{21}\zeta_{11} + a_{22}\zeta_{12} = \xi_2$ , разрешая которую, получим

$$\zeta_{11} = \frac{\xi_1 a_{22} - \xi_2 a_{12}}{a_{11} a_{22} - a_{21} a_{12}}; \zeta_{12} = \frac{\xi_2 a_{11} - \xi_1 a_{21}}{a_{11} a_{22} - a_{21} a_{12}}, \quad (1)$$

где  $a_{12} = a_{21} = -\alpha x_{12}$ . Отсюда получаем более точное приближение

$$\zeta_1 = \zeta_{11} \varphi_1(x) e^{i\omega t} + \zeta_{12} \varphi_2(x) e^{i\omega t}. \quad (1)$$

Для нахождения функции  $\zeta_2 = \zeta_2(t, x)$  следует полностью повторить процедуры (1), (1) с заменой индексов с 1 на 2 у эксцентриситета правой опоры  $\delta_2$ , а также функций и коэффициентов, входящих в эти выражения.

По аналогии с (1) получим при удержании первого члена ряда

$$\zeta_2 = \zeta_{21} \varphi_1(x) e^{i\omega t} = \frac{b_{2j} \delta_2 \omega^2}{\sqrt{(p_{2j} - \omega^2)^2 + p_{1j}^2}} \varphi_1 e^{i(\omega t + \theta_2)}$$

В отличие от линейной амплитудно-частотной характеристики резонансные частоты при увеличении натяжения, обусловленного виброперемещением ленты, смещаются в область больших значений. Это объясняет, в частности, тот факт, что в реальных условиях эксплуатации возникновение резонансных режимов возможно при более высоких частотах по сравнению с вычисленными для линейной системы значениями.

Конструкция ленточных конвейеров требует применения динамического анализа для прогнозирования местоположения поперечных колебаний. Приведены уравнения, определяющие движение движущейся ленты. Помимо отклонений в различных параметрах, которые регулируют вибрацию, система является по существу детерминированной, пока не появятся большие амплитуды вибрации.

Большой интерес для инженеров-конструкторов представляет граница стабильности данной конструкции. В статье рассмотрены различные ограничения, которые необходимо определить для представления динамически стабильного проекта.

### Список литературы

1. А. Harrison. Modern design of belt conveyors in the context of stability boundaries and chaos. 16 March 1992.
2. Панкратов С.А. Динамика машин для открытых горных и земляных работ. М. «Машиностроение» 1967 – 446 с.
3. Кожушко Г.Г., Лукашук М.Д. Анализ вынужденных поперечных колебаний конвейерных лент // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. трудов XVII Междунар. науч.-техн. конф. «Чтения памяти В. Р. Кубачека», 04-05 апр., 2019 г., г. Екатеринбург. Екатеринбург: УГГУ, 2019. С. 469-472.
4. Бабаков И.М. Теория колебаний. – М.: ГИТЛ. 1958. – 628 с.
5. Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г. Теория и расчет ленточных конвейеров. М.: Машиностроение, 1978. — 392 с.



УДК 665.6: 665.7

## УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЭКСПРЕСС АНАЛИЗАТОР КАЧЕСТВА МОТОРНОГО ТОПЛИВА

Терещенко И.А., Молодых А.С., Дубов В.В., Степанов М.С., Полякова В.В.  
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»,  
г. Краснодар, Российская Федерация

*В статье изложена проблема контроля качества моторного топлива автовладельцем, представлены все факторы, которые влияют на свойства бензина и предложена концепция универсального экспресс анализатора качества моторного топлива, способного определять критические критерии показателей нефтепродукта быстро и понятно для потребителей.*

**Ключевые слова:** моторное топливо, бензин, октановое число, механические примеси, содержание воды, лабораторные методы, спектроскопия, анализатор, прототип.

*The article describes the problem of quality control of motor fuel by the car owner, presents all the factors that affect the properties of gasoline and offers the concept of a universal Express analyzer of motor fuel quality that can determine the critical criteria for petroleum indicators quickly and clearly for consumers.*

**Keywords:** motor fuel, gasoline, octane number, mechanical impurities, water content, laboratory methods, spectroscopy, analyzer, prototype.

В современном обществе использование автомобилей предусматривает потребление большого количества топлива. В результате спроса на рынке возникает огромное количество предложений, некоторые из которых сомнительного качества, зависящих не только от владельцев автозаправочных станций (АЗС), но и от недобросовестных фирм-поставщиков.

Качество заправляемого топлива характеризуется количеством механических примесей, содержанием воды и октановым числом.

Использование бензина с малым октановым числом приводит к детонациям в камерах сгорания: параллельно с воспламенением топливной смеси от свечей зажигания происходят взрывы смеси. Ударная волна от такого взрыва гуляет по цилиндру, и водитель слышит удары в двигателе. После сотен и тысяч таких взрывов появляются микротрещины, возникает усталость материалов. Итог — выход из строя мотора, но такой финал мгновенно не наступает. После единичной детонации двигатель не сломается, а, значит, этого можно избежать, заправляясь качественным топливом.

В топливе содержатся микроскопические частицы грязи, и при каждом пополнении емкости они опускаются на дно. Инородные частицы загрязняют топливную аппаратуру, оседают на стенках цилиндров, забивают катализатор, что тоже в свою очередь приводит к поломкам автомобиля.

Намеренно водой топливо не разбавляют, но она появляется при конденсации влаги на внутренней поверхности бензобака и емкостей хранения АЗС. Неприятности, связанные с попаданием воды в моторное

топливо могут быть самые разнообразные, начиная от коррозионных проявлений на деталях автомобиля и заканчивая полным выходом его из строя.

Но существуют способы контроля качества моторного топлива: метод лакмусовых индикаторов, портативные приборы-октанометры, лабораторные методы. Но каждый из этих способов имеет ряд недостатков:

Метод лакмусовых индикаторов определяет только наличие воды, и в целом его использование непрактично.

Портативные приборы-октанометры измеряют только октановое число. При этом погрешность измерения, ввиду ненадлежащих условий измерения, довольно высокая.

Лабораторные методы анализа занимают много времени, непригодны для повседневного использования и слишком дороги.

У всех этих способов есть определенные достоинства и недостатки, но в основном они не очень удобны для повседневного использования.

Но ведется создание такого прибора, который мог бы определять качество моторного топлива по всем трем показателям, быть удобным в использовании владельцу транспортного средства и при этом иметь приемлемую стоимость. Такой аппарат носит название «универсальный мобильный экспресс анализатор моторного топлива».

Ароматические соединения характеризуются поглощением в трех областях: выше  $3000\text{ см}^{-1}$  проявляются валентные колебания С—Н-связей; в диапазоне  $1600\text{—}1450\text{ см}^{-1}$  — скелетные колебания С—С-связей и, наконец, ниже  $900\text{ см}^{-1}$  наблюдаются деформационные колебания С—Н. По числу и положению полос в области ниже  $900\text{ см}^{-1}$  можно определить тип замещения бензольного кольца, но обычно это делают по поглощению в области  $1600\text{—}2000\text{ см}^{-1}$ .

Все это способствует максимально простой работе анализатора, которая понятна для потребителя, и сокращению времени ожидания вывода результатов анализа качества моторного топлива до минимума (3-5 секунд).

К сожалению, на российском рынке пока такого прибора нет.

Но эта разработка позволит анализировать качество топлива непосредственно при заправке в автомобиль даже не специалисту. Благодаря тому, что устройство имеет малые размеры и встраивается в горловину бензобака, является удобным в устройстве и эксплуатации.

Этот прибор не сложен в выполнении, но имеет большое практическое значение для автовладельцев, которые беспокоятся о состоянии своего автомобиля и хотят иметь возможность контролировать качество вливаемого в автомобиль моторного топлива, не потратив на это много времени.

Универсальный мобильный экспресс анализатор моторного топлива обладает практическими преимуществами перед аналогами, уже имеющимися на рынке, такими, как:

- цена значительно ниже, чем у конкурентов;
- нет необходимости в каких-либо манипуляциях с самим аппаратом, так как он уже встроен в бензобак автомобиля и не нуждается в регулярном его обслуживании;
- аппарат способен быстро и довольно точно определить содержание механических примесей и воды в моторном топливе, в также его октановое число.

В заключение хотелось бы добавить, что проблема, освещенная в этой статье, а именно проблема контроля качества моторного топлива автовладельцем, имеет решение, причем оно довольно легко в реализации имеет большое практическое решение для обычного владельца транспортного средства. В настоящее время поставлена задача по созданию универсального экспресс анализатора качества моторного топлива и уже ведется разработка прибора.

#### **Список используемых источников**

1. Кирсанов Ю. Г., Шишов М. Г., Коняева А. П. Анализ нефти и нефтепродуктов : [науч. ред. О. А. Белоусова] ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 88 с
2. Рябов В. Д. Химия нефти и газа / В. Д. Рябов. М. : Техника, 2004.

УДК 622.53

## О ГИДРАВЛИЧЕСКОМ ПЫЛЕПОДАВЛЕНИИ НА КАРЬЕРНЫХ АВТОДОРОГАХ

Морин А.С.<sup>1</sup>, зав. кафедрой, Бровина Т.А.<sup>1</sup>, ст. преподаватель

<sup>1</sup>Сибирский федеральный университет, кафедра «Горные машины и комплексы»,  
г. Красноярск, Россия

*Предложены новые способы подавления пыли в карьерах, основанные на распылении воды из напорных трубопроводов в зонах движения и в пунктах разгрузки технологического автотранспорта. Рассмотрены элементы систем пылеподавления, размещаемые на автосамосвалах и вдоль карьерных автодорог.*

**Ключевые слова:** *состав воздуха в карьерах, пыль, орошение дорог, брызги, технологический автотранспорт, форсунки, краны, итуцеры, расход жидкости, насосы, трубопроводы.*

### ABOUT HYDRAULIC DUST SUPPLY ON CAREER ROADS

Morin A.S., Brovina T.A.

*New methods of dust suppression in careers are proposed, based on the spraying of water from pressure pipelines in traffic areas and at unloading points of technological vehicles. The elements of dust suppression systems placed on dump trucks and along career roads are considered.*

**Keywords:** *air composition in careers, dust, road irrigation, spray, technological vehicles, nozzles, taps, fitting, fluid flow, pumps, pipelines.*

Открытые горные работы являются источником интенсивного загрязнения атмосферного воздуха и часто сопровождаются сверхнормативным пылевым фоном. Пылевая нагрузка отрицательно влияет на показатели работы горного оборудования, ускоряет износ трущихся деталей машин, приводит к росту числа профессиональных заболеваний и к снижению трудоспособности персонала.

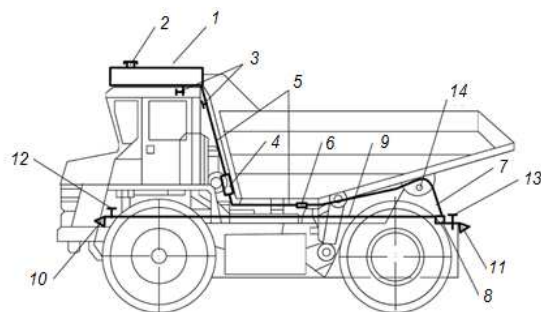
Значительное влияние на состав воздуха в карьерах оказывает технологический автотранспорт. Специалистами в области охраны труда регистрировались случаи, когда запылённость воздуха вблизи дорог при движении по ним автосамосвалов длительное время превышала ПДК в десятки и сотни раз при общекарьерном пылевом фоне  $0,3 \div 2$  мг/м<sup>3</sup> [1, 2].

В настоящее время одним из распространённых методов борьбы с пылью в карьерах является периодическая поливка дорог с помощью оборудованных цистернами автомашин, вода из которых под напором насоса или самотёком поступает в разбрызгивающее устройство или нагнетается в ствол установленного на машине гидромонитора. Основной недостаток карьерных поливальных машин заключается в малой удельной производительности при значительных капитальных затратах и существенных эксплуатационных расходах.

Санитарно-гигиенические показатели работы малопроизводительных средств борьбы с пылью могут быть существенно улучшены за счёт непрерывного увлажнения очагов загрязнения на карьерных автомобильных дорогах и в пунктах разгрузки горной массы с помощью высокодисперсных водяных капель. Необходимое количество тонкораспылённой воды позволяет получать специальная гидравлическая система, монтируемая на карьер-

ерных автосамосвалах (рис. 1). Для работы системы [3] в течение 8-часовой смены необходима ёмкость 1 объёмом  $1 \div 1,5 \text{ м}^3$ , предварительно наполненная водой через заливную горловину 2. Полное опорожнение ёмкости 1 «на землю» осуществляют через сливной патрубком, запираемый краном 3. При открывании второго крана 3 обеспечивается поступление воды из ёмкости 1 в пневматический насос 8 по всасывающей магистрали 5 – 7, состоящей из неподвижно закреплённого на задней стенке и днище кузова стального трубопровода 5 и гибкого рукава 7, подвешенного на оси 14 и соединённого с трубопроводом 5 с помощью муфты 6. Для удаления из воды механических примесей на трубопроводе 5 устанавливают фильтр грубой очистки 4, а на входе в насос 8 – фильтр тонкой очистки. Насос 8 обеспечивает рабочее давление в передних 10 и задних 11 форсунках напорных трубопроводов 9, уложенных на раме (шасси) автомобиля.

*а*



*б*

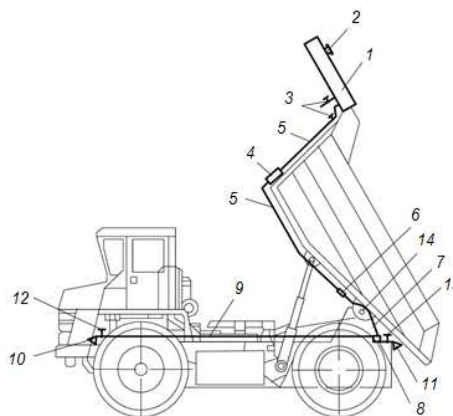


Рис. 1. Карьерный автосамосвал, снабжённый системой распыления воды для предотвращения пылеобразования при транспортировании (*а*) и разгрузке (*б*) горной массы:

1 – ёмкость для воды; 2 – заливная горловина с крышкой; 3 – краны, обеспечивающие слив воды или её подачу к насосу; 4 – фильтр грубой очистки; 5 – неподвижный всасывающий трубопровод; 6 – соединительная муфта; 7 – гибкий всасывающий рукав; 8 – высоконапорный пневматический насос с фильтром тонкой очистки; 9 – напорный трубопровод; 10 и 11 – передние и задние форсунки; 12 и 13 – краны для регулирования подачи воды; 14 – ось поворота кузова

Для подачи воды в зоны пыления автосамосвала открывают краны 12 и 13 и включают насос 8. Вода перемещается по трубам 5, 7, 9 к открытым форсункам 10 и 11 и разбрызгивается в окружающей атмосфере под передними и задними колёсами автомобиля, связывая выделяющуюся пыль. При повышении концентрации загрязнений или их объёма в жаркую и засушливую погоду увеличивают факел выброса воды из форсунок 10 и 11 путём увеличения пропускной способности крана 3.

При численном моделировании процесса подавления пыли, выделяющейся из под колёс карьерного автосамосвала с интенсивностью  $0,014 \text{ кг/с}$ , были установлены целесообразный объём капли воды до соударения с пылевыми частицами ( $6,54 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3$ ), длина траектории падения водяных капель ( $3,2 \div 5,7 \text{ м}$ ), среднее количество частиц пыли, приходящихся на одну

каплю воды (34201 шт.), необходимый объём воды для орошения  $1 \text{ м}^3$  пылевого облака ( $1,26 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ ), удельный расход воды на связывание 1 кг пыли ( $2,1 \div 2,9 \text{ дм}^3/\text{кг}$ ), объём воды, необходимый для непрерывного подавления пыли в течение 8-часовой смены ( $850 \div 1170 \text{ дм}^3$ ). Эти показатели позволили определить целесообразные рабочие параметры представленной системы орошения зон пыления автосамосвала.

Последующие изыскания ресурсосберегающих способов и средств гидравлического пылеподавления в карьерах показали, что для повышения эффективности поливки автодорог во многих случаях целесообразно использовать действующие системы водоотлива. В этом случае орошение транспортных берм и примыкающих зон обеспечивается с помощью присоединённых к напорной магистрали водоотливной установки оросительных устройств. Простейший вариант реализации такого способа борьбы с витающей пылью схематично показан на рис. 2 [4, 5]. На нём изображена карьерная водоотливная установка, содержащая насосные агрегаты 1 и напорные трубопроводные магистрали 2. На участках примыкания трубопроводной сети к транспортным бермам в стенках водоводов 2 закреплены штуцеры с форсунками 3, открываемые кранами 4. В конце участков с путевым расходом жидкости установлены вентили (регулирующие проходные клапаны) 5.

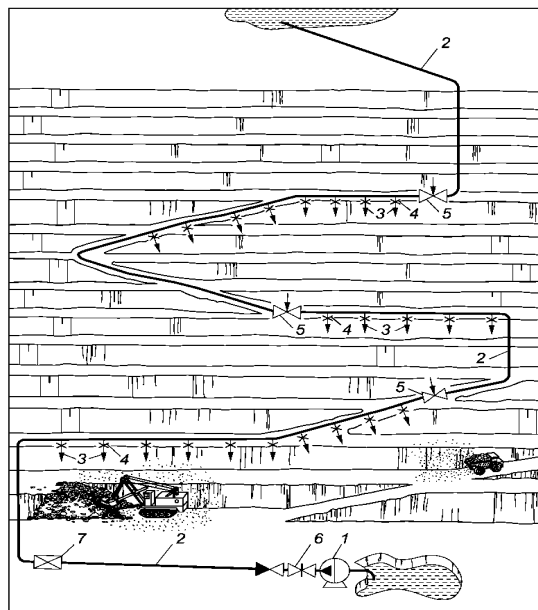


Рис. 2. Орошение воздуха и полив карьерных автодорог из трубопроводов водоотливной установки:

1 – насосная станция; 2 – напорные трубопроводы (рабочий и резервный);  
3 – штуцеры с оросительными форсунками; 4 – краны; 5 – регулирующие проходные клапаны; 6 – пусковая задвижка с обратным клапаном;  
7 – дроссельный клапан

Для полива автодорог и орошения воздуха в карьере в тёплое время года при отсутствии дождей открывают краны 4 на штуцерах 3, в результате чего часть перемещаемой по трубам 2 воды начинает фонтанировать из

открытых форсунок 3 с образованием факела брызг в окружающей атмосфере. В процессе распыления воды поддерживают номинальный режим работы насосов 1 за счёт изменения частоты вращения приводного вала насосов, например, с помощью преобразователей частоты, или путём дросселирования напорных трубопроводов, например, с помощью вентилей 5, пусковых задвижек 6 или дроссельных клапанов 7 [5, 6].

При повышении концентрации загрязнений или их объёма в одной из орошаемых зон увеличивают путевой расход и размеры факела выброса воды из форсунок 3 на прилегающем к этой зоне участке напорных трубопроводов 2 путём уменьшения пропускной способности расположенного на этом участке вентиля 5. Одновременно с этим целесообразно понизить давление на входе в форсунки на вышележащих участках напорных трубопроводов за счёт полного открытия вышерасположенных вентилей с переводом форсунок соответствующих участков из режима орошения в режим полива автодорог. Такое регулирование также совмещают с поддержанием номинального режима работы насосов.

Применение предлагаемого способа позволяет снизить затраты на пылегазоподавление за счёт использования в качестве средства орошения и полива загрязнённых зон карьерной водоотливной установки. Кроме этого, повышается эффективность охраны внутрикарьерного воздушного бассейна в связи с возможностью регулирования расхода жидкости в оросительных форсунках по длине напорных трубопроводов в соответствии с изменениями пылегазового режима орошаемых зон.

### **Список литературы**

1. Никитин В.С., Левинский О.Б., Суслов Н.В. Обеспыливание атмосферы карьеров. – Ташкент: ФАН, 1974. – 160 с.
2. Семенов Б.А., Бухман Я.З., Симаков П.Г., Таращик А.Д., Макаров В.И. Борьба с пылью на карьерных автодорогах / В сб.: Опыт борьбы с загазованностью и загрязненностью атмосферы карьеров. – М.: НИИ Цветметинформация, 1968. – С. 69-75.
3. Патент на изобретение № 2693256 E01H 3/02, E01C 19/12, E21F 5/02 (РФ). Транспортное средство для предотвращения пылеобразования при транспортировании горной массы / Бровина Т.А., Борисов Ф.И., Кудашкин Д.А., Борисов Д.Ф. – № 2018129273/10; заявл. 09.08.2018; опубл. 01.07.2019. – Бюл. № 19.
4. Патент на изобретение № 2572100 E21F 5/04 (РФ). Способ предупреждения и подавления пылегазовых выбросов в карьере / Морин А.С., Бровина Т.А., Борисов Ф.И., Демченко И.И. – № 2014151813/03; заявл. 19.12.2014; опубл. 27.12.2015. – Бюл. № 36.
5. Патент на изобретение № 2580329 E02D 19/10 (РФ). Способ регулирования режима работы карьерной водоотливной установки / Морин А.С., Борисов Ф.И., Бровина Т.А. – № 2014146140/03; заявл. 17.11.2014; опубл. 10.04.2016. – Бюл. № 10.
6. Борисов Ф.И., Морин А.С., Бровина Т.А. Карьерные водоотливные установки с путевым расходом в зонах орошения автодорог / Известия вузов. Горный журнал. – 2017. – № 3. – С. 65-72.

УДК 622.271

## МЕТОДИКА ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕДУКТОРА МОТОР-КОЛЕСА АВТОСАМОСВАЛОВ БЕЛАЗ

Плютов Ю. А., Воронин В. Р., Цимбалюк Н. А., Деннер В. И.  
Сибирский федеральный университет, Красноярск

*Предложена методика диагностики технического состояния редуктора мотор-колеса автосамосвалов БелАЗ, которая позволяет оценить его остаточный ресурс и исключить аварийные поломки.*

*Ключевые слова:* автосамосвал, редуктор, мотор-колесо, диагностика

## METHODOLOGY FOR DIAGNOSING THE TECHNICAL CONDITION OF THE PLANETARY REDUCTOR OF MOTOR-WHEEL BY BELAZ DUMP TRUCKS

Plyutov Yu. A., Voronin V. R., Tsimbalyuk N. A., Denner V. I.

*There is a diagnostic method of the technical condition of the planetary reductor of motor-wheel by BelAZ dump trucks, which evaluate it's residual life and eliminate emergency breakdowns.*

*Keywords:* dump truck, reductor, motor-wheel, diagnostic

До 70 % всего объема перевозок горной массы на горных предприятиях приходится на карьерные автосамосвалы. Автосамосвалы БелАЗ занимают более 30 % мирового рынка машин большой и особо большой грузоподъемности. По данным карьеров и угольных разрезов Красноярского края и республики Хакасия наиболее частой причиной выхода из строя карьерных автосамосвалов являются неисправности редукторов мотор-колес (РМК), удельный вес которых от общего числа простоев составляет 27 %.

Выход из строя редуктора мотор-колеса, в основном, связан со следующими причинами:

- износ, разрушение сепараторов и шаров подшипников;
- увеличение зазора между коническим подшипником и упорным кольцом;
- износ рабочей поверхности сателлитов;
- выкрашивание зубчатых передач.

С целью уменьшения простоев карьерных автосамосвалов нами предложена методика бортовой диагностики технического состояния РМК, с помощью которой будет осуществляться непрерывный мониторинг и оценка технического состояния большинства его узлов. Методика предусматривает контроль вибрации в местах, наиболее удаленных от вала; величины зазора между коническим подшипником и упорным кольцом; температуры масла в различных точках картера РМК. Измерения вышеуказанных параметров производятся с помощью вибрационно-диагностического и линейно-углового измерительных комплексов, а также системы термической диагностики.



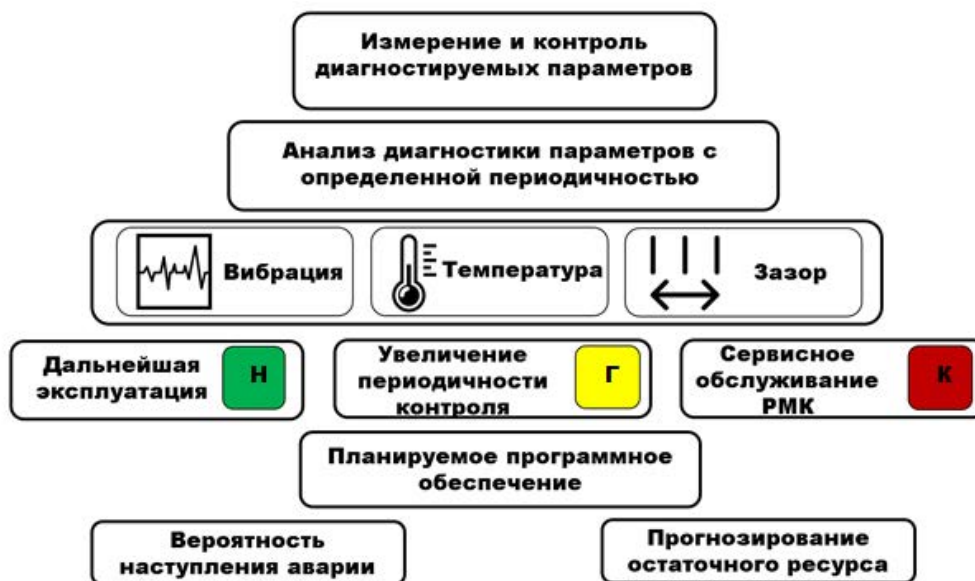


Рисунок – Блок-схема методики диагностики технического состояния РМК

Для анализа данных на выходе из системы предлагается выделить три зоны: зона нормальных (Н), граничных (Г) и критических (К) значений. Для каждой зоны определяется соответствующий диапазон числовых значений всех контролируемых параметров с учетом типа редуктора и условий эксплуатации автосамосвала.

Помимо диагностического оборудования используется программное обеспечение (пакет MATLAB, модуль Fuzzy Logic), с помощью которого оценивается вероятность наступления аварийной ситуации. Рассчитываются коэффициент динамической нагрузки, контактное напряжение в полосе зацепления, потери несущей способности пары зубьев, остаточная мера несущей способности пары зубьев. Со временем формируется база данных, которая является основой для оценки остаточного ресурса РМК.

Последовательность операций предложенной методики следующая. С определенной периодичностью производится мониторинг диагностируемых параметров. Если один из них попадает в зону граничных значений, то периодичность контроля за этим параметром увеличивается в 2-3 раза. В случае попадания одного из параметров в зону критических значений РМК демонтируется и направляется на сервисное обслуживание. По данным мониторинга программное обеспечение рассчитывает вероятность наступления аварийной ситуации и оценивает остаточный ресурс РМК.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

### Пленарное заседание

<b>В списках памяти навечно. Жиганов П.А.,</b> ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург .....	<b>4</b>
<b>1. НАЗЛО ВСЕМ СМЕРТЯМ! Боярских Г.А.,</b> ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург.....	<b>6</b>
<b>3. ПАМЯТИ АБАЛМАСОВА Н.П. Жиганов А.А.,</b> ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург.....	<b>12</b>
<b>4. ПАМЯТИ АБАЛМАСОВА Н.П. Третьяков А.С.,</b> ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург .....	<b>13</b>
<b>5. СТУДЕНТОМ НА ФРОНТ. Никитин А.Г.,</b> ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк.....	<b>14</b>
<b>6. ПУТЬ СОЛДАТА. Воронова Э.Ю.,</b> Шахтинский автодорожный институт (филиал) ЮРГПУ(НПИ) им. М.И. Платова, г. Шахты.....	<b>16</b>
<b>7. ОБРАЗ СОЛДАТА. Жиганов А.А.,</b> ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург .....	<b>20</b>
<b>8. КИЛЬКЕЕВ ШАХИМ ХУСАИНОВИЧ – ВОИН, УЧЕНЫЙ, ПЕДАГОГ. Баталов А.П., Ведрова Д.А., Иванова М.В.,</b> ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург.....	<b>21</b>
<b>9. ОСКОЛОК У СЕРДЦА. Жиганов А.А., Жиганов П.А.,</b> ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург.....	<b>26</b>
<b>10. ВЕТЕРАНЫ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ В ИСТОРИИ КАФЕДРЫ «ГОРНЫЕ МАШИНЫ». Казаченко Г.В., Басалай Г.А.,</b> Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь.....	<b>27</b>
<b>11. ТЕХНИКА ТОРФЯНОЙ ОТРАСЛИ В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ. Копенкина Л.В.,</b> Тверской государственный технический университет, г. Тверь.....	<b>31</b>
<b><u>Секция 1. Машины и оборудование для открытых и подземных горных работ.....</u></b>	<b>35</b>
<b>1. МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, КАК КЛАСС ГОРНЫХ МАШИН ДЛЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ. Зюзин Б.Ф., Жигульская А.И., Яконовская Т.Б., Оганесян А.С., Смирнов К.С.,</b> Тверской государственный технический университет, г. Тверь .....	<b>36</b>
<b>2. МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ И ЗОН КОНТАКТОВ ДИСКОВЫХ ШАРОШЕК С ПОРОДОЙ ПРИ ПРОХОДКЕ В СМЕШАННЫХ ГРУНТАХ. Губанов С.Г., Пецык А.А.,</b> Национальный исследовательский технологический университет “МИСиС”, г. Москва .....	<b>40</b>
<b>3. ПРИРОДООХРАННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ГРАНИТА. Басалай И.А., Басалай Г.А.,</b> Белорусский национальный технический университет, г. Минск .....	<b>44</b>
<b>4. ОПЫТ КОНСТРУИРОВАНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСНОЙ</b>	

<b>БУРОВОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН С ЦЕЛЬЮ ДОБЫЧИ ВОДЫ. Герасимов А.М., Бочков В.С., ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург.....</b>	<b>49</b>
<b>5. ЭНЕРГОНЕЗАВИСИМЫЙ КОМПЛЕКС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ. Зюзин Б.Ф., Жигульская А.И., Яконовская Т.Б., Мурашев А.А. Тверской государственный технический университет, г. Тверь .....</b>	<b>53</b>
<b>6. НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭКСКАВАТОРОВ. Комиссаров А.П., Попов А.Г., Хорошавин С.А., Бахарева В.И. ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург .....</b>	<b>56</b>
<b>7. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕМЕНТОВ КОВША ПОГРУЗЧИКА ДЛЯ СБОРКИ ДРЕВЕСНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ ИЗ ТОРФЯНОГО РАССТИЛА. Корнильев Е.О., Жигульская А.И. Тверской государственный технический университет, г. Тверь .....</b>	<b>60</b>
<b>8. ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРОКЛАПАНОВ 2/2. Пестряков А.Н., Кольга А.Д., Филатов А.М. Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск .....</b>	<b>63</b>
<b>9. СТРУГ ИЛИ КОМБАЙН – АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ДОБЫЧЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ. Туктамышева Р.И., Банников И.В., Брисницын И.С., Ким В.Р. Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Карагандинский высший политехнический колледж, г. Караганда, .....</b>	<b>67</b>
<b>10. АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОТОЛКОУСТУПНОГО ЗАБОЯ. Абдугалиева Г.Б., Бузауова Т.М., Окимбаева А.Е., Рахимова А.Б. Карагандинский технический государственный университет, г.Караганда ..</b>	<b>72</b>
<b>11. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩИХ ОРГАНОВ ПРОХОДЧЕСКО-ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ КАЛИЙНЫХ РУДНИКОВ. Шишлянников Д.И., суханов А.Е. Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь.....</b>	<b>76</b>
<b>12. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ВСАСЫВАЮЩЕГО СОПЛА МАШИНЫ ДЛЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ УБОРКИ ФРЕЗЕРНОГО ТОРФА. Яблонев А.Л., Щербакова Д.М. Тверской государственный технический университет, г. Тверь .....</b>	<b>80</b>
<b>13. МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ КУСКОВОГО ТОРФА. Яблонев А.Л., Гусева А.М. Тверской государственный технический университет, г. Тверь .....</b>	<b>84</b>
<b>14. МОДЕРНИЗАЦИЯ СЕРИЙНЫХ БУРОВЫХ СВЕРЛ SANDVIK СЕРИИ DL-421 В УСЛОВИЯХ ПОДЗЕМНОГО РУДНИКА НУРКАЗГАН. Ермек Е.Е. Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, Р. Казахстан.....</b>	<b>88</b>
<b>15. БУКСОВАНИЕ МОБИЛЬНЫХ ГОРНЫХ МАШИН И ИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ. Казаченко Г.В., Басалай Г.А. Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь .....</b>	<b>92</b>

<b>16. ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ГИДРОМОЛОТА МГК-1 ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЕГО ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК.</b> Митусов А.А., Лагунова Ю.А., Решетникова О.С. Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова, г.Барнаул, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия, Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, Казахстан .....	97
<b>17. ОБЗОР МОДЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ШАХТНОЙ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ.</b> Нусс С.В. Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь .....	101
<b>18. РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МНОГОСЕКЦИОННЫХ ТРАЛОВ ДЛЯ ДОБЫЧИ ЖЕЛЕЗОМАНГАНЦЕВЫХ КОНКРЕЦИЙ.</b> Рахутин М.Г., Каширский А.С. НИТУ «МИСиС», Министерство промышленности и торговли Российской Федерации, г. Москва .....	104
<b>19. АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ГУСЕНИЧНОГО ТРАКА КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА ОТ УГЛА УКЛОНА.</b> Симба Наваррете В. (Эквадор), Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва .....	107
<b>20. РАБОТА ПЛОСКОЙ ГИДРОСТАТИЧЕСКОЙ ОПОРЫ В ТРЕХОПОРНОМ МЕХАНИЗМЕ ШАГАНИЯ ЭКСКАВАТОРА-ДРАГЛАЙНА.</b> Суслов Н.М., Чернухин С.А. ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург .....	111
<b>21. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАПЛЕУЛОВИТЕЛЯ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ВОДНЫХ И ПЫЛЕВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В ВЕНТИЛЯЦИОННОМ ТРУБОПРОВОДЕ ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ ШАХТ И РУДНИКОВ.</b> Фомин А.Н. ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)», г. Владикавказ ...	115
<b>22. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕХАНИЗМОВ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГОРНОЙ ТЕХНИКИ В СОСТАВЕ ПРОХОДЧЕСКОГО ВЗРЫВОНАВАЛОЧНОГО КОМПЛЕКСА.</b> Щербаков С.В., Маковецкая А.В., Воронов П.Р. Шахтинский автодорожный институт (филиал) ЮРГПУ(НПИ) им. М.И. Платова .....	119
<b>23. ВИБРОАКТИВНЫЙ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩИЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ РАЗРУШЕНИЯ СЛОЖНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ЗАБОЙНОГО МАССИВА.</b> Юнгмейстер Д.А., Насонов М.Ю., Ячейкин А.И. Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург.....	123
<b>24. ОЦЕНКА РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЗМА РЫЧАЖНОГО РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА.</b> Комиссаров А.П., Плотников Н.С. ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», ООО «Уральская производственная компания», г. Екатеринбург .....	126
<b>25. АСПЕКТЫ КУЛЬТУРОЛОГИИ И ТЕХНОВЕДЕНИЯ В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕМ ПРОИЗВОДСТВЕ, ОСНАЩЁННОМ ПРОМЫШЛЕННЫМИ ДРОНАМИ.</b> Ткачева Т.А., Московский политехнический университет, г. Москва .....	131
<b>26. КОМБИНИРОВАННАЯ СХЕМА РАССТАНОВКИ РЕЗЦОВ ШНЕ-</b>	

<b>КОВОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА. Габов В.В., Нгуен В.С. (Вьетнам), Задков Д.А. ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», г. Санкт-Петербург .....</b>	<b>134</b>
<b><u>Секция 2. Машины и оборудование обогатительных фабрик</u></b>	<b>138</b>
<b>1. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МЕХАНИЗМА СЕПАРАТОРА ДЛЯ УДАРНОГО РАЗРУШЕНИЯ КУСКОВ СУЛЬФИДНОЙ РУДЫ. Афанасьев А.И., Потапов В.Я., Стожков Д.С. Потапов В.В., Медведев А.И. Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург .....</b>	<b>139</b>
<b>2. РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗДЕЛЕНИЯ СУЛЬФИДНОЙ РУДЫ НА ЭЛЕКТРОИНДУКЦИОННОМ СЕПАРАТОРЕ. Афанасьев А.И., Потапов В.Я., Стожков Д.С. Потапов В.В., Медведев А.И. Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург .....</b>	<b>144</b>
<b>3. ОБОСНОВАНИЕ УСЛОВИЙ И ПРИМЕНЕНИЕ ВИБРАЦИОННЫХ ПИТАТЕЛЕЙ И ГРОХОТОВ В КАРЬЕРНЫХ КОМПЛЕКСАХ ОЧИСТКИ КАРБОНАТНОГО СЫРЬЯ ОТ ГЛИНИСТЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ. Абдулкаримов М.К. Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург .....</b>	<b>149</b>
<b>4. ПЕРСПЕКТИВНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ БАЗ ДАННЫХ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА КОНУСНОЙ ДРОБИЛКИ. Лагунова Ю.А., Ибраева Н.Р. Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург.....</b>	<b>154</b>
<b>5. АНАЛИЗ НАГРУЗОЧНОГО ПРОЦЕССА ЩЕКОВОЙ ДРОБИЛКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ УПРОЩЕННЫХ МОДЕЛЕЙ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ. Майоров С.А. Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург.....</b>	<b>159</b>
<b>6. ОБОРУДОВАНИЕ «ВИБРОТЕХНИК» ДЛЯ ПРОБОПОДГОТОВКИ И ОПЫТ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ В УЧЕБНОЙ ЛАБОРАТОРИИ УРАЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА. Семчак А.И., Бочков В.С. ООО «ВИБРОТЕХНИК», г. Санкт-Петербург, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург .....</b>	<b>164</b>
<b><u>Секция 3. Геологоразведочное и нефтегазовое оборудование</u></b>	<b>166</b>
<b>1. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ МЕТОДОВ УВЕЛИЧЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ. Бочкова К. В., Лагунова Ю.А. ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург.....</b>	<b>167</b>
<b>2. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УЗЛА ИЗМЕРЕНИЯ ОБВОДНЁНОСТИ. Игнатьев С.А., Лагунова Ю.А. ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург.....</b>	<b>171</b>
<b>3. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МОНТАЖА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ ШТАНГОВЫХ СКВАЖИННЫХ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК. Шишляников Д.И., Фролов С.А., Тяктев М.М., Кирилловых Д.С.. Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИ-Пинефть», г. Пермь .....</b>	<b>174</b>

<b>4. НОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД.</b> Костилевский В.А., Шайдаков В.В., Аюпова А.Р. ПАО "Нефтяная компания Лукойл", УГНТУ, ООО НПЦ «АММА».....	<b>179</b>
<b>5. РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ ГАЗИФИКАЦИИ РЕГИОНОВ РОССИИ ПУТЕМ СОЗДАНИЯ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ.</b> Шиян С.И., Терещенко И.А., Величко Е.И., Дунаев В.И. ФГБОУ ВО “Кубанский государственный технологический университет”, г. Краснодар	<b>182</b>
<b>6. КОДИРОВАНИЕ ИЗНОСА ШАРОШЕЧНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА.</b> Симисин А.Д., Симисин И.Л., Захаров И.С. ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», ООО НПЦ «Технические средства бурения», ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет».....	<b>186</b>
<b>7. ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАГНЕТАТЕЛЯ ПО ТЕРМОГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ.</b> Степанов М.С., Иноземцев Д.А., Бунякин А.В. ФГБОУ ВО “Кубанский государственный технологический университет”, г. Краснодар .....	<b>190</b>
<b>8. ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ БАЛКИ НАПРАВЛЯЮЩЕЙ.</b> Маркелов А.С., Гаврилова Л.А. ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет».....	<b>194</b>
<b>9. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ОСНОВАНИЯ БУРОВОЙ УСТАНОВКИ.</b> Маркелов А.С., Гаврилова Л.А. ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет».....	<b>197</b>
<b>10. АВТОМАТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ РОЗЖИГА ФАКЕЛА ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПОДАЧЕ.</b> Симонов В.А., Комиссаров А.П. ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет».....	<b>201</b>
<b>11. АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ УКРЫТИЙ БУРОВОЙ УСТАНОВКИ.</b> Шахова А.А., Савинова Н.В. ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет».....	<b>205</b>
<b>12. ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПАРАМЕТРОВ ПРОХОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ВЫРАБОТОК МАЛОГО СЕЧЕНИЯ.</b> Юнгмейстер Д.А., Уразбахтин Р.Ю. ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», г. Санкт-Петербург.....	<b>209</b>
<b>13. НОВЫЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ПРИВОД ДЛЯ СКВАЖИННЫХ ПРИБОРОВ.</b> Яконовская Т.Б., Жигульская А.И., Яконовский П.А., Оганесян А.С. Тверской государственный технический университет, г. Тверь, TGT Oil and Gas Services, г. Казань.....	<b>213</b>
<b><u>Секция 4. Вопросы моделирования и расчеты сложных технических систем.....</u></b>	<b>216</b>
<b>1. ДИСТОРТНОСТЬ В ОЦЕНКЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПОВЕДЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ.</b> Зюзин Б.Ф., Жигульская А.И., Яконовская Т.Б. Тверской государственный технический уни-	<b>217</b>

верситет, г. Тверь.....	
<b>2. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА ТИПА ЭКГ. Альшанская А.А. ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск</b>	<b>222</b>
<b>3. ВЛИЯНИЕ УГЛОВ КОСИНЫ НА ПРОГИБЫ ТРЕУГОЛЬНЫХ ПЛАСТИН НЕРЕГУЛЯРНОЙ ФОРМЫ. Ахмедиев С.К., Безкоровайный П.Г., КарГТУ, г. Караганда, Р. Казахстан.....</b>	<b>226</b>
<b>4. ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГОРНЫХ ПРОЦЕССОВ. Бейсембаев К.М., Юрченко В.В., Нокина Ж.Н., Макухин О.С., Лапушкин А.А. КарГТУ, г. Караганда, Р. Казахстан .....</b>	<b>231</b>
<b>5. ФОРМИРОВАНИЕ РЫЧАЖНОГО ПЕРЕДАТОЧНОГО МЕХАНИЗМА В КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРАХ (МЕХЛОПАТАХ). Комиссаров А. П., Шестаков В.С., Лукашук О.А. ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», ФГАОУ ВО «Уральский Федеральный университет имени первого Президента РФ Б.Н.Ельцина», г. Екатеринбург .</b>	<b>235</b>
<b>6. РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭКСКАВАТОРА. Комиссаров А.П., Шестаков В.С., Набиуллин Р.Ш. Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург .....</b>	<b>242</b>
<b>7. О ТИПОВОЙ ЗАДАЧЕ В ХОДЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭКСКАВАТОРОВ С ГИДРАВЛИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ. Побегайло П.А. ИМАШ им. А.А. Благодрава РАН, Москва, РФ.....</b>	<b>248</b>
<b>8. К ВОПРОСУ О СНИЖЕНИИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В ПРИВОДЕ ТЯГОВОЙ ЛЕБЕДКИ ШАГАЮЩЕГО ДРАГЛАЙНА. Побегайло П.А., Крицкий Д.Ю. ИМАШ им. А.А. Благодрава РАН, г. Москва, АО "СУЭК-КРАСНОЯРСК", Красноярск.....</b>	<b>252</b>
<b>9. ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО ЧИСЛА ОПОР ДЛЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ МЕТОДОМ ПЛАНИРУЕМОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА. Статников И.Н., Фирсов Г.И. Институт машиноведения им. А.А. Благодрава РАН, г. Москва.....</b>	<b>257</b>
<b>10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ КОПАНИЯ В ПРЕДЕЛАХ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭКСКАВАТОРА. Шестаков В.С., Безкоровайный П.Г., Франц Т.П. ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, РФ, Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, Республика Казахстан.....</b>	<b>261</b>
<b>11. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ «ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА» РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ. Шибанов Д.А., Иванов С.Л., Чишегов Д.А. Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург....</b>	<b>266</b>
<b>12. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕЦИФИКАЦИИ WSSS ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ УМЕНИЙ И НАВЫКОВ ПО СПЕЦИАЛЬНЫМ ДИСЦИПЛИНАМ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ. Савинова Н.В. ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург.....</b>	<b>270</b>
<b><u>Секция 5. Проблемы материаловедения, производства и конструирования в машиностроении.....</u></b>	<b>275</b>
<b>1. ПРИМЕНЕНИЕ АНТИКОРРОЗИЙНОЙ ЗАЩИТЫ ДЛЯ УВЕЛИЧЕ-</b>	

<b>НИЯ СРОКА СЛУЖБЫ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ГОРНЫХ МАШИИН. Антоневиц М.О., Лукашук А.Д., Лукашук О.А. ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента РФ Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург .....</b>	<b>276</b>
<b>2. МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ГОРИЗОНТАЛЬНО-РАСТОЧНОГО СТАНКА С ЧПУ. Игнатъев С.А., Лагунова Ю.А. ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург .....</b>	<b>280</b>
<b>3. ОПЫТ ДИАГНОСТИКИ ГОРНЫХ МАШИИН, ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ НА ОАО «УРАЛАСБЕСТ». Бочков В.С., Мырзабай А.О. ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург ...</b>	<b>284</b>
<b>4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА НИЗКОМОДУЛЬНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ В КАЧЕСТВЕ ОДНОГО СПОСОБА КОНСТРУКЦИОННОГО ДЕМПФИРОВАНИЯ. Огорелков Д.А., Миронов В.И., Осипов В.И., Шалаев К.А. Уральский Федеральный Университет имени первого президента России Б.Н. Ельцина, Институт Машиноведения УрО РАН, г. Екатеринбург .....</b>	<b>287</b>
<b><u>Секция 6. Ремонт, сервисное обслуживание и диагностика горного оборудования.....</u></b>	<b>292</b>
<b>1. АНАЛИЗ СТАТИСТИКИ ОТКАЗОВ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ. Альшанская А.А. ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск .....</b>	<b>293</b>
<b>2. ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ГОРНЫХ МАШИИН СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ СМАЗКИ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСМИССИИ ПРИ ЕЕ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ. Князькина В.И., Сафрончук К.А., Иванов С.Л., Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург.....</b>	<b>297</b>
<b>3. МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОССТАНОВЛЕННОЙ ДЕТАЛИ КАРЬЕРНОГО ОДНОКОВШОВОГО ЭКСКАВАТОРА ПОСЛЕ УПРОЧНЕНИЯ. Левашова Е.Е. Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово .....</b>	<b>301</b>
<b>4. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ УТЕЧЕК ИЗ ТРУБОПРОВОДА НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОЧАСТОТНОГО МОНИТОРИНГА. Терещенко И.А., Аванесов А.С., Величко Е.И., Дунаев В.И., Поляков А.В., Полякова В.В. ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», г. Краснодар .....</b>	<b>305</b>
<b>5. СТАНДАРТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ РЕМОНТА ГОРНОТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ. Андреева Л.И., Красникова Т.И., Челябинский филиал ИГД УрО РАН, г. Челябинск, Научно-исследовательский институт эффективности и безопасности горного производства (ООО «НИИОГР»), г. Челябинск.....</b>	<b>309</b>
<b>6. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА РЕМОНТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ГОРНОЙ ТЕХНИКИ. Андреева Л.И., Челябинский филиал ИГД УрО РАН, г. Челябинск .....</b>	<b>314</b>



<b>7. ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КРАНОВЫХ ПУТЕЙ.</b> Дерябин В.С., Лукашук О.А. Уральский Федеральный Университет имени первого президента России Б.Н. Ельцина .....	<b>321</b>
<b>8. ПРЕДПОСЫЛКИ ОРГАНИЗАЦИИ КЛАСТЕРА СЕРВИСНОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ТОРФОДОБЫВАЮЩЕЙ ТЕХНИКИ В РФ.</b> Яковлевская Т.Б., Жигульская А.И., Оганесян А.С. Тверской государственный технический университет, г. Тверь .....	<b>325</b>
<b>9. АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОТКАЗОВ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ.</b> Побегайло П.А., Ильина А.Н., Крицкий Д.Ю. ИМАШ им. А.А. Благонравова РАН, г. Москва, ФГБОУВО МАИ (НИУ), г. Москва, АО "СУЭК-КРАСНОЯРСК", г. Красноярск .....	<b>329</b>
<b>10. РАЗВИТИЕ ИНЖЕНЕРНОГО ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ КОНЦЕНТРАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ В МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЯХ ЭКСКАВАТОРОВ - ДРАГЛАЙНОВ.</b> Побегайло П.А., Крицкий Д.Ю. ИМАШ им. А.А. Благонравова РАН, г. Москва, АО "СУЭК-КРАСНОЯРСК", г. Красноярск .....	<b>335</b>
<b>11. ОБЗОР ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА РАЗВИТИЕ РЫНКА РЕМОНТА ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ.</b> Рудоискатель В.В. ООО «Конструкторское бюро горного машиностроения», г. Екатеринбург .....	<b>341</b>
<b>12. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА.</b> Малыбаев Н.С., Ибраева Н.Р., Акбасов Е.Б. Карагандинский Государственный Технический Университет, г.Караганда.....	<b>345</b>
<b><u>Секция 7. Карьерный транспорт и транспорт нефти и газа...</u></b>	<b>348</b>
<b>1. ПОПЕРЕЧНЫЕ КОЛЕБАНИЯ КОНВЕЙЕРНОЙ ЛЕНТЫ.</b> Кожушко Г.Г., Лукашук М.Д., ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург .....	<b>349</b>
<b>2. УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЭКСПРЕСС АНАЛИЗАТОР КАЧЕСТВА МОТОРНОГО ТОПЛИВА.</b> Терещенко И.А., Молодых А.С., Дубов В.В., Степанов М.С., Полякова В.В. ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», г. Краснодар .....	<b>352</b>
<b>3. О ГИДРАВЛИЧЕСКОМ ПЫЛЕПОДАВЛЕНИИ НА КАРЬЕРНЫХ АВТОДОРОГАХ.</b> Морин А.С., Бровина Т.А. Сибирский федеральный университет, кафедра «Горные машины и комплексы», г. Красноярск.....	<b>355</b>
<b>4. МЕТОДИКА ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕДУКТОРА МОТОР-КОЛЕСА АВТОСАМОСВАЛОВ БЕЛАЗ.</b> Плютов Ю. А., Воронин В. Р., Цимбалюк Н. А., Деннер В. И. Сибирский федеральный университет, г. Красноярск .....	<b>359</b>

**Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности:** сборник трудов XVIII 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 25.03.2020 г. Бумага «Svetocopy» Формат 60×84 1/16  
Ризография Печ. л. 23,0 Уч.-изд.л. Тираж 100 экз.

Кафедра горных машин и комплексов

620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Уральский государственный горный университет

E-mail: [Yu.Lagunova@mail.ru](mailto:Yu.Lagunova@mail.ru)