

Учредитель: Издательство "НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ"

Главный редактор
КАНТОВИЧ Л.И.

Зам. гл. редактора
ИВАНОВ С.Л.
ЛАГУНОВА Ю.А.

Редакционный совет:

КОЗОВОЙ Г.И.
(сопредседатель)
ТРУБЕЦКОЙ К.Н.
(сопредседатель)
АНТОНОВ Б.И.
ГАЛКИН В.А.
КОЗЯРУК А.Е.
КОСАРЕВ Н.П.
МЕРЗЛЯКОВ В.Г.
НЕСТЕРОВ В.И.
ЧЕРВЯКОВ С.А.

Редакционная коллегия:

АНДРЕЕВА Л.И.
ГАЛКИН В.И.
ГЛЕБОВ А.В.
ЕГОРОВ А.Н.
ЕДЫГЕНОВ Е.К.
ЖАБИН А.Б.
ЗЫРЯНОВ И.В.
КАРТАВЫЙ Н.Г.
КУЛАГИН В.П.
МИКИТЧЕНКО А.Я.
МЫШЛЯЕВ Б.К.
ПЕВЗНЕР Л.Д.
ПЛЮТОВ Ю.А.
ПОДЭРНИ Р.Ю.
САВЧЕНКО А.Я.
САМОЛАЗОВ А.В.
СЕМЕНОВ В.В.
СТАДНИК Н.И.
СТРАБЫКИН Н.Н.
ТРИФАНОВ Г.Д.
ХАЗАНОВИЧ Г.Ш.
ХОРЕШОК А.А.
ЮНГМЕЙСТЕР Д.А.

Редакция:

БЕЛЯНКИНА О.В.
ДАНИЛИНА И.С.

Телефоны редакции:
(499) 269-53-97, 269-55-10

Факс (499) 269-55-10

E-mail: gma@novtex.ru
<http://novtex.ru/gormash>

СОДЕРЖАНИЕ

ПОДЗЕМНЫЕ РАБОТЫ

- Луганцев Б. Б., Файнбурд Л. И.** Современное состояние и перспективы развития струговой техники 2
- Хазанович В. Г.** Повышение эффективности технической эксплуатации погрузочных машин непрерывного действия 9

ОТКРЫТЫЕ РАБОТЫ

- Мерзляков В. Г., Слесарев Б. В., Штейнцайг В. М.** Опыт применения карьерных гидравлических экскаваторов Komatsu Mining Germany на предприятиях России 15

ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА. АВТОМАТИЗАЦИЯ

- Микитченко А. Я., Бессонов В. Г.** Исследование транзисторного непосредственного преобразователя частоты с релейно-токовым управлением 21
- Козярук А. Е., Загривный Э. А., Маларев В. И., Зырин В. О.** Электротермический комплекс с забойными тепловыми генераторами для разработки газогидратных залежей 25

РЕМОНТ

- Беляев А. И.** Применение наплавки при ремонте изношенных деталей горного оборудования 29

ДРОБИЛЬНО-СОРТИРОВОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

- Юдин А. В., Примаков В. С., Ворончихина Т. С., Щавлев Е. Г.** Оборудование комплексов при сухой очистке карбонатного сырья от глины 34

ТРАНСПОРТ

- Зырянов И. В., Головизин Л. И., Решетников С. В.** Продление сроков службы карьерных автосамосвалов CAT-777 различных модификаций в условиях Нюрбинского ГОКа 41
- Тарасов Ю. Д.** Повышение тягового усилия ленточных конвейеров с увеличенными длинами, углами наклона и производительностью 46

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, и входит в систему Российского индекса научного цитирования.

УДК 622.232.75

Б. Б. Луганцев, д-р техн. наук, ген. директор, **Л. И. Файнбурд**, канд. техн. наук, первый зам. ген. директора, ШахтНИУИ, г. Шахты

E-mail: shaktniui@yandex.ru

Современное состояние и перспективы развития струговой техники

Приведены тенденции развития струговой техники за рубежом и в России, изложены последние разработки ШахтНИУИ по струговым механизированным комплексам, струговым установкам, струговым механизированным крепям.

Ключевые слова: струговая установка, комплекс, крепь, технология, уголь, пласт, гидравлическая система.

B. B. Lugantsev, L. I. Fineburd

Modern State and Perspectives of Development of Knife Plane Techniques

The tendencies of development of knife plane techniques abroad and in Russia are given, the latest workings out of the Shakhty Scientific Research Coal Institute about knife plane mechanized complexes, knife plane mechanized sets are expounded.

Keywords: knife plane installation, complex, set, technology, coal, seam, hydraulic system.

В настоящее время технология струговой выемки угля на тонких пластах остается наиболее перспективной, так как обеспечивает высокую нагрузку на очистной забой, качество добываемого топлива, низкую его зольность, рентабельность добычи угля.

Развитие струговых установок за рубежом, особенно в Германии — в части повышения энергоемкости единичного привода до 1000 кВт и массы машины за счет применения более тяжелых тяговых органов на базе цепей калибра до 42 мм и увеличения толщины применяемых материалов направлено на повышение надежности струговых установок и расширения области их применения за счет возможности присечки боковых пород.

ШахтНИУИ считает такое развитие струговой техники нецелесообразным и экономически невыгодным по следующим причинам:

1) увеличение массы тяговых органов приводит к тому, что существенная доля мощности применяемых приводов затрачивается на протягивание тяговых органов, а не на разрушение угольного пласта, что делает экономически неэффективным это направление;

2) присечка боковых пород стругом снижает одно из преимуществ технологии струговой выемки угля — низкую зольность добываемого топлива;

3) увеличение энергоемкости приводов и массы струговой установки приводит к существенному ее удорожанию.

Основное развитие струговой техники, по мнению ШахтНИУИ, должно идти по пути повышения надежности машин (но не за счет увеличения мощности приводов и массы струговых установок), безопасности их применения, эргономических показателей эксплуатации, автоматизации производственных процессов, оптимизации конструкции и цены.

Многолетний опыт работы института показал: применение струговых установок должно осуществляться в пределах мощности пласта;

оптимальное значение единичной мощности привода должно находиться в пределах 110...315 кВт;

тяговый орган струга должен быть выполнен на базе цепи калибра не более 34 мм, а конвейера — до 26 мм.

Опыт работы струговых механизированных комплексов на тонких пластах позволил ШахтНИУИ

сделать вывод, что для пласта мощностью до 1,0 м целесообразнее применять струговые установки СО отрывного типа и лишь на пластах большей мощности — струговые установки СН скользящего типа; при суточной нагрузке на лаву до 2000...2500 т могут эффективно применяться струговые установки легкого класса, и лишь для получения более высоких нагрузок целесообразно применение струговых установок среднего и тяжелого классов.

В 2002 г. ШахтНИУИ приступил к разработке струговых установок, крепей и комплексов нового технического уровня, соответствующих лучшим зарубежным образцам за счет качественно новых технических решений по предохранительным устройствам приводов, устройствам натяжения цепей струга и конвейера, элементам автоматизации, применения секций крепи с гарантированным начальным распором.

Одновременно с этим институт занимался и модернизацией существующего стругового оборудования.

Основные разработки ШахтНИУИ, выполненные в последние годы, описаны в настоящей статье.

Комплекс очистной струговый МКС

Комплекс очистной струговый МКС (рис. 1) предназначен для комплексной механизации отбойки, погрузки и доставки угля, крепления и управления кровлей при выемке угольных пластов с углами падения до 25° и сопротивляемостью угля резанию в неотжатой зоне до 300 кН/м.

Струговый комплекс МКС выполнен на базе струговой механизированной крепи КС — однорядной, двухстоечной щитового типа и унифицированной струговой установки нового технического уровня скользящего типа 2СН3413 (среднего класса) для выемки пластов мощностью 0,85...1,4 м,

лавами длиной до 350 м или 1СН99 (легкого класса) для выемки угольных пластов 0,65...1,4 м с углами падения пласта при работе по простиранию не более 25° и сопротивляемостью резанию в стабильной зоне не более 300 кН/м, в лавах длиной до 250 м.

Крепь КС — агрегатированная, поддерживающе-оградительного типа, двухстоечная, однорядная предназначена для механизации процессов поддержания и управления кровлей, передвижения забойного конвейера.

Техническая характеристика крепи КС

Высота секции крепи, мм	630...1320
Удельное сопротивление на 1 м длины лавы, кН/м	1976...2150
Коэффициент гидравлической раздвижности	2
Шаг установки секции, м	1,5
Коэффициент затяжки кровли, не менее	0,9

Крепь КС имеет выше коэффициент использования рабочего сопротивления, она абсолютно устойчива в направлении передвижки, носок основания крепи не вдавливаются в слабую почву.

Струговая установка 2СН3413 — скользящего типа, среднего класса может оснащаться двигателями с суммарной мощностью приводов до 1000 кВт. Тяговый орган струга — цепь круглозвенная калибра 34×126 или 30×108 мм. Конвейер струговой установки 2СН3413 выполнен на базе усиленного профиля боковин высотой 230 мм, с защитным днищем и толщиной листа среднего днища 30 мм. Тяговый орган конвейера — центрально сдвоенная цепь калибра 30×108 или 26×92 мм со штампованными скребками повышенной прочности.

Струговая установка 2СН3413 работает в комплексе с механизированными крепями комплектного и агрегатированного типа. При коэффициенте машинного времени 0,60 на пластах мощностью 1,0 м расчетная нагрузка на лаву составляет 7000...7500 т/сут.

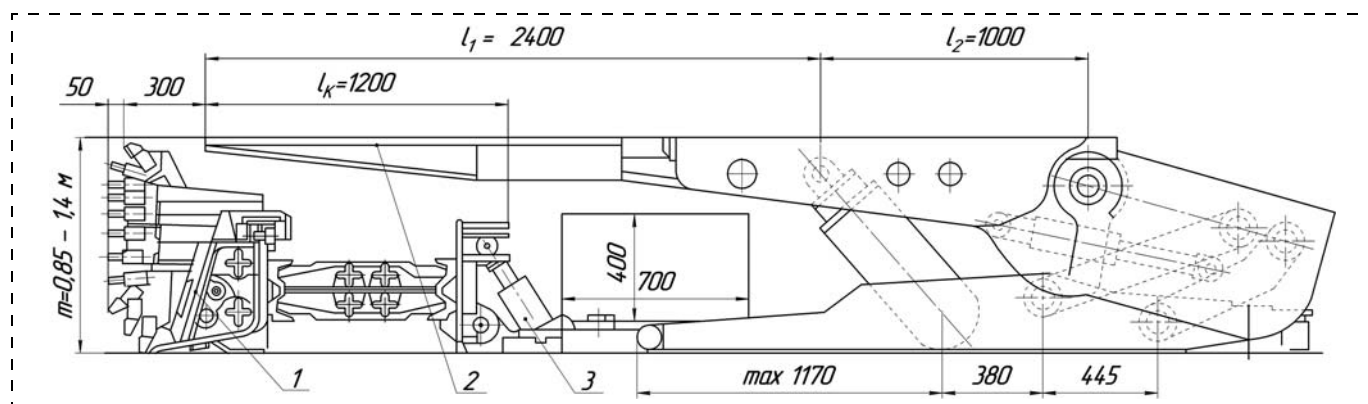


Рис. 1. Комплекс очистной струговый МКС:

1 — струговая установка; 2 — механизированная крепь; 3 — гидрооборудование

Струговая установка ИСН99 — скользящего типа, легкого класса оснащается двигателями суммарной мощностью до 640 кВт. Тяговый орган струга — цепь круглозвенная калибра 30×108 или 26×92 мм. Конвейер струговой установки выполнен на базе боковин, имеющих усиленный профиль высотой 190 мм, с защитным днищем и толщиной листа среднего днища 20...23 мм. Тяговый орган конвейера — на базе разнесенных круглозвенных цепей калибра 18×64 или специальных пониженных цепей калибра 24×86 мм со штампованными скребками повышенной прочности.

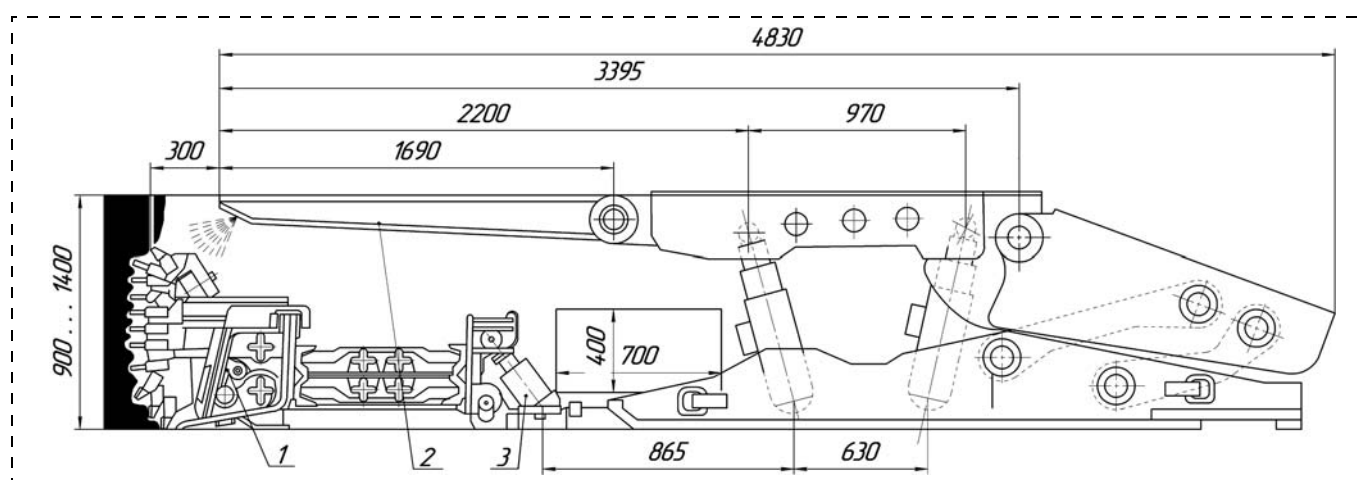
Комплекс очистной струговый 2МКС216

Комплекс 2МКС216 (рис. 2) выполнен на базе механизированной крепи 2КС216 (2КТК) и струговой установки 2СН3410 или 2СН3413 или струговой установки 1СН99 для выемки пластов мощностью 0,8...1,4 м лавами длиной до 350 м с нагрузками 3000...5000 т/сут.

ная, двухрядная предназначена для механизации процессов поддержания и управления кровлей, передвижения забойного конвейера.

Наличие основания катамаранного типа позволяет эксплуатировать крепь в лавах с почвами, склонными к вспучиванию, и порогами высотой до 300 мм. Секция крепи обладает повышенной устойчивостью в направлении передвижки. Штанговый механизм передвижки обеспечивает удержание конвейера от сползания и направленное перемещение секции.

Комплекс 2МКС125 выполнен на базе строгой механизированной крепи 2КС125(2КСТ) — однорядной двухстоечной щитового типа и унифицированной струговой установки нового технического уровня скользящего типа 1СН99 или 2СН3413 с энерговооруженностью до 1000 кВт (четыре двигателя по 250 кВт) для выемки пластов мощностью 1,0...1,6 м лавами длиной до 350 м с нагрузкой 3000...5000 т/сут.



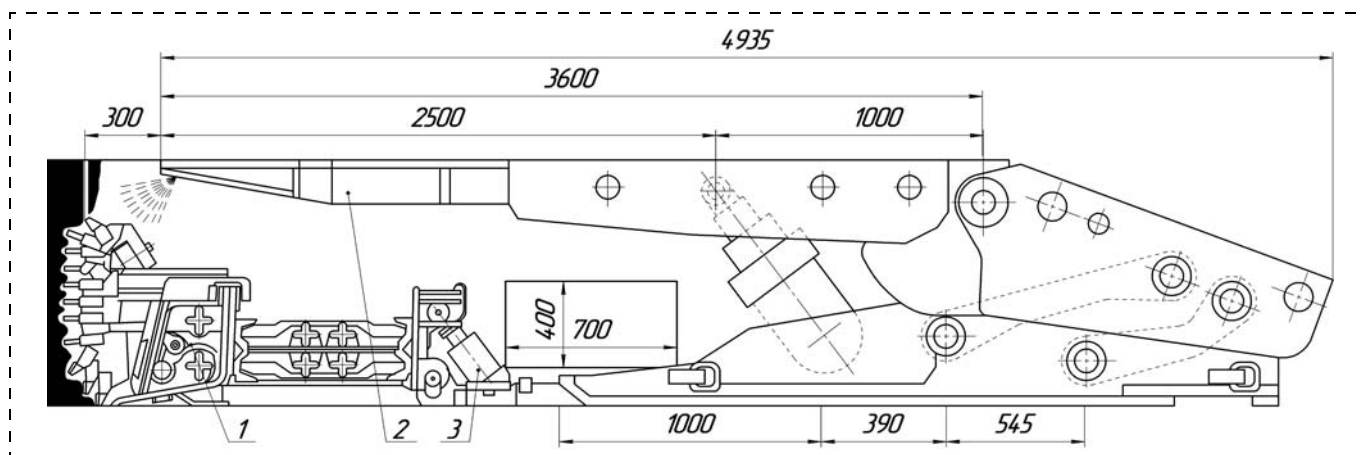


Рис. 3. Комплекс очистной струговой 2МКС125:
1 — струговая установка; 2 — механизированная крепь; 3 — гидрооборудование

Крепь 2КС125(2КСТ) — агрегатированная, под-
держивающе-оградительного типа, двухстоечная,
однорядная предназначена для механизации про-
цессов поддержания и управления кровлей, пере-
движения забойного конвейера.

Техническая характеристика крепи 2КС125(2КСТ)

Высота секции крепи, мм	700...1520
Шаг установки секции, м	1,5
Коэффициент затяжки кровли, не менее	0,87
Коэффициент гидравлической раздвижности, не менее	2,17
Удельное сопротивление на 1 м длины лавы, кН/м	2500...2850

Секция крепи отличается повышенным коэф-
фициентом использования рабочего сопротивле-
ния стоек, обладает повышенной устойчивостью
в направлении передвижки, носок основания
секции не вдавливаются в слабую почву.

Стругово-комбайновый комплекс

На действующих угольных шахтах России около
10 % промышленных запасов угля составляют
пласты, опасные по выбросам угля и газа. Для
этих условий в ШахтНИУИ было разработано
техническое предложение на стругово-комбайно-
вый комплекс для эффективной и безопасной от-
работки указанных пластов.

Проведенными исследованиями было установ-
лено, что при образовании разгрузочной щели
глубиной, равной захвату комбайна или шагу пе-
редвижки крепи плюс неснижаемое опережение
на 0,2 м, опасность выброса угля существенно сни-
жается, а в сочетании с применением струговой
выемки пласта приводит к безопасному ведению
работ по добыче угля на выбросоопасных пластах.

Исследования показали, что наиболее эффектив-
ным способом отработки выбросоопасных пластов

являются стругово-комбайновая технология и
техника. Сущность стругово-комбайновой техноло-
гии выемки угля (рис. 4) состоит в том, что выемка
в очистном забое ведется двумя выемочными ма-
шинами: верхняя или средняя часть пласта на высо-
ту до 140...300 мм и глубину 0,9...1,0 м вынимается
в виде щели щеленарезным комбайном, а нижняя
уступная часть, разгруженная от горного давле-
ния, — струговой установкой.

Щеленарезной комбайн перемещается по стру-
говой установке в лаве, образуя щель глубиной 0,9 м
и высотой до 300 мм. Выемка пласта или слабой
породы по напластованию без затрат энергии на их
переизмельчение и погрузку обеспечивает более
низкую по сравнению со шнековыми комбайнами
энергоёмкость выемки. Это позволяет эффективно
вынимать угли и породы с сопротивляемостью ре-
занию до 450 кН/м. Отсутствие необходимости по-
грузки исполнительным органом комбайна отби-
того угля (породы) на скребковый конвейер позво-
ляет значительно увеличить скорость его подачи.

Управление комбайном может осуществляться
не только из лавы, но и с пультов управления, ус-
тановленных на штреках не ближе 15 м от лавы. Это
позволяет увеличить скорость подачи щеленарез-
ного комбайна до 8...10 м/мин при выемке угля
вне выбросоопасных зон и до 20 м/мин при холос-
том перегоне комбайна.

Исполнительный орган струговой установки раз-
рушает нижнюю уступную часть угольного пласта,
ослабленную щелью. Совместно со стругово-ком-
байновой установкой должна применяться механи-
зированная струговая крепь с электрогидравличе-
ским управлением секций. Секции крепи должны
иметь возможность передвигаться за проходом
комбайна в образовавшуюся щель.

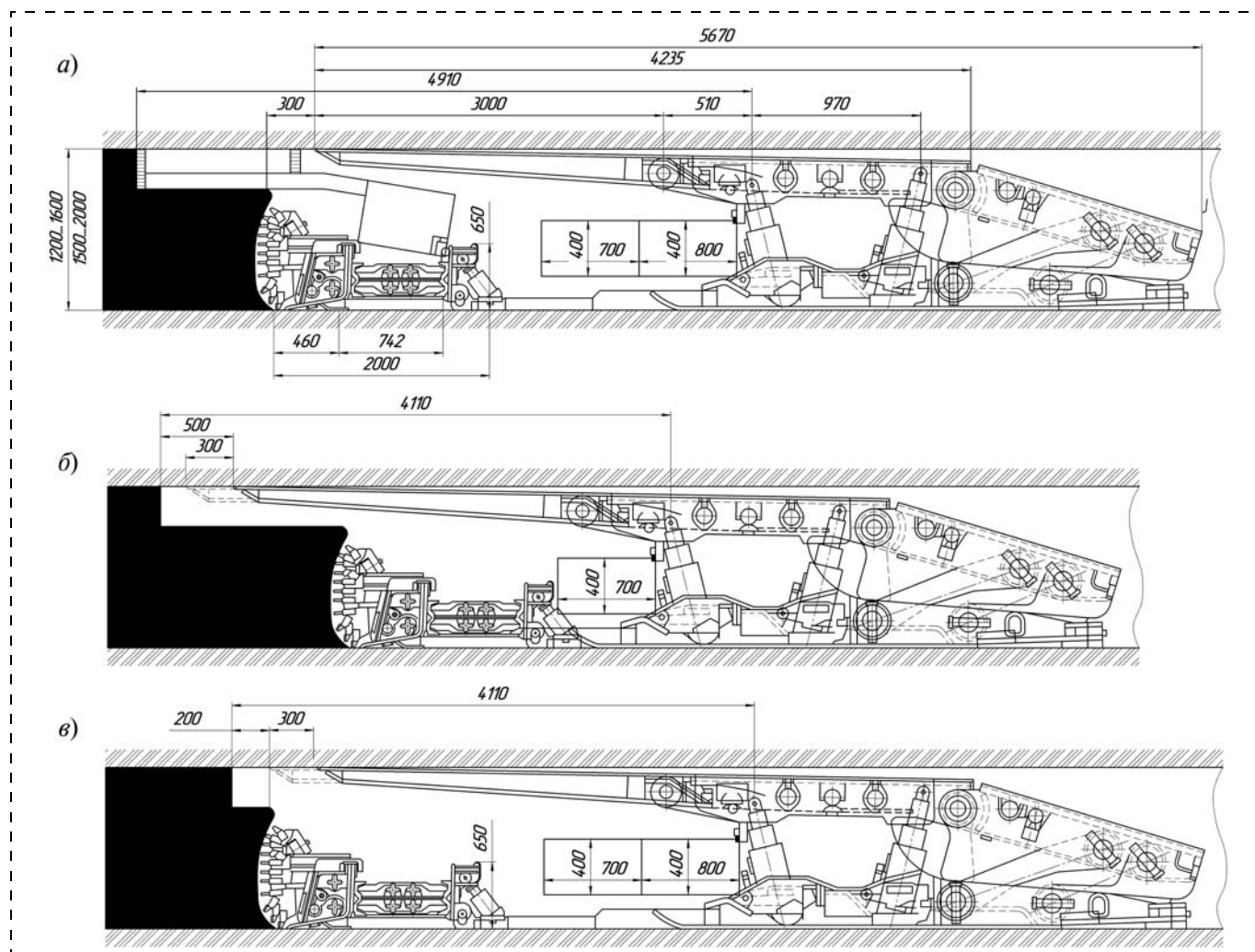


Рис. 4. Положение стругово-комбайнового комплекса на различных этапах процесса выемки угольного пласта:
а — выемка щели комбайном; б — передвижка секции крепи; в — выемка угольной пачки стругом

В результате выбора конструкции и выполненных расчетов были получены параметры стругово-комбайнового комплекса и его техническая характеристика.

Техническая характеристика стругово-комбайнового комплекса

Мощность обслуживаемых пластов, м	1,2...2,0
Производительность по угольной пачке, т/мин	4,23
<i>Струговая установка</i>	
Расчетная производительность, м ² /мин, не менее	5,8
Установленная мощность приводов струга и конвейера, кВт	1000
Скорость струга, м/с	0,65; 1,95
<i>Комбайн</i>	
Тип исполнительного органа	Барабанный
Число исполнительных органов	Один
Ширина захвата (глубина щели), м, не более	0,9
Высота исполнительного органа, м, не более	0,3
Скорость подачи, м/мин	8
Скорость резания, м/с	5,23
<i>Механизированная крепь</i>	
Высота секции крепи, мм	780...1600
Коэффициент гидравлической раздвижности	1,5
Соппротивление крепи для управления кровлей, кН/м ²	2928...3440

Расчет нагрузки на очистной забой на выбросоопасных угольных пластах показывает, что стругово-комбайновый комплекс может обеспечить нагрузку 2740...3700 т/сут.

Сборные единицы струговых установок

В ШахтНИУИ были проведены работы по созданию сборных единиц, повышающих эффективность применения струговых установок.

Муфта предельного момента

Одной из главных проблем, решаемых при создании струговых установок — защита привода от перегрузок.

Институтом проведены работы по созданию неразрушающейся защиты привода струговой установки от перегрузок на базе многодисковой фрикционной муфты скольжения с контролируе-

мым углом проскальзывания (далее муфта). Муфта работает в сочетании с электронным устройством, контролирующим угол проскальзывания дисков муфты и отключающим электродвигатели привода в случае, если угол проскальзывания превышает 180° . Таким образом происходит защита привода от перегрузок и перегрева муфты.

Муфта состоит из блока пружин, корпуса, втулки, пакета дисков, устройства отключения, кулачковой муфты и крепежных деталей. Корпус муфты устанавливается на полом вала, а втулка — на валу звездочки.

Передача момента от полого вала к валу звездочки происходит за счет сил трения, возникающих при сжатии пакета дисков с помощью блока пружин. Величина момента зависит от усилия сжатия, создаваемого пружинами. При превышении величины предельного момента, на который настроена муфта, диски начинают проскальзывать, снижая пиковые нагрузки на элементы привода.

При достижении предельного угла проворота кулачковая муфта расцепляется и перемещает магнит в устройстве отключения и отключает приводные электродвигатели.

Опытные образцы муфты предельного момента были изготовлены (муфта получила обозначение МПМ) и успешно испытаны на струговой установке скользящего типа с мощностью приводов 320 кВт как на стенде, так и в шахтных условиях.

Низкодинамическая система натяжения цепей струга и конвейера

Предварительное натяжение цепей струга и конвейера существенно влияет на работу струговой установки. Слишком сильное натяжение цепей ведет к увеличению нагрузки на привод, шума, а слабо натянутая цепь — к интенсивному ее изнашиванию из-за ударов по входной кромке направляющих каналов. В отечественных конвейерах и струговых установках усилие натяжения не контролируется и ничем не ограничивается, а трансмиссия подвергается значительным динамическим нагрузкам.

Исследования показали, что оптимальной является низкодинамическая система натяжения с возможностью регулировки и контроля усилия в цепи. ШахтНИУИ предложена система низкодинамического натяжения цепей струга и конвейера, включающая устройство гидравлического натяжения (УГН) и дополнительные элементы стопорения цепи при натяжении.

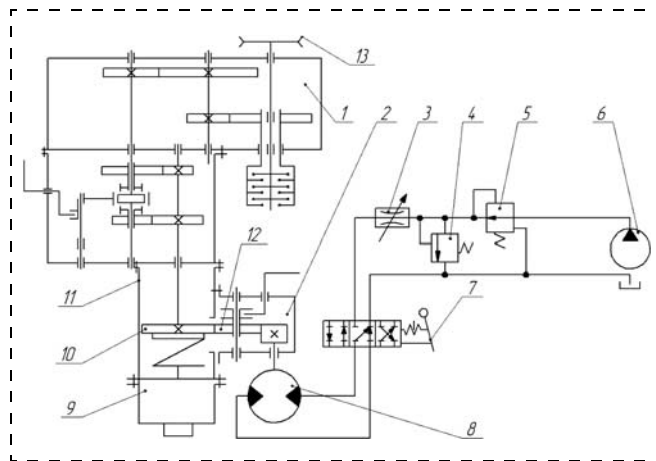


Рис. 5. Гидрокинематическая схема низкодинамического натяжного устройства:

1 — основной редуктор; 2 — дополнительный редуктор; 3 — регулируемый дроссель; 4 — предохранительный клапан; 5 — редукционный клапан; 6 — насосная станция; 7 — гидрораспределитель; 8 — регулируемый реверсивный гидромотор; 9 — электродвигатель привода; 10 — зубчатый венец; 11 — проставка; 12 — выходное колесо; 13 — звездочка

Гидрокинематическая схема разработанного ШахтНИУИ низкодинамического натяжного устройства представлена на рис. 5.

Проведенные стендовые и шахтные испытания опытного образца низкодинамического натяжного устройства цепей струга и конвейера УГН показали правильность и эффективность заложенных технических решений.

Система гарантированной величины начального распора секции механизированной крепи

Основным недостатком механизированных крепей как отечественных, так и зарубежных является низкая надежность выполнения функций по поддержанию кровли в начальный период после передвижки секции.

Такое явление происходит из-за того, что фактическая величина начального распора секции в лавах может составлять 50 % от расчетной. В ШахтНИУИ разработана однорядная щитовая крепь КСП, в которой обеспечивается величина гарантированного начального распора секции в размере 80...90 % от рабочего сопротивления независимо от величины давления жидкости в магистрали.

Отличие и новизна крепи КСП заключаются в том, что секция имеет электрогидравлическую систему гарантированного начального распора (СГР), которая после завершения операции по передвижке секции в автоматическом режиме независимо от оператора производит дораспор секции до заданной величины начального распора.

Система гарантированного распора состоит из следующих узлов: гидрозамка, обратных клапанов,

распределителя, мультипликатора, фильтра, реле давления.

Принцип работы СГР следующий. В исходном положении электромагнит электрогидравлического распределителя ЭКУ обесточен, а штоковая полость мультипликатора постоянно соединена через обратный клапан с магистралью крепи. Мультипликатор находится под высоким давлением. Реле давления с двумя уровнями контролируемых давлений ведет контроль за заданными граничными величинами давления. При проведении операции по расporу стоек давление в поршневых полостях стоек возрастает и при достижении начального порогового давления контакты реле замыкаются, напряжение подается на электромагнит ЭКУ. С этого момента СГР начинает работать в автоматическом режиме.

Давление от магистрали подается одновременно в поршневую полость мультипликатора и на открытие гидрозамка. Под давлением усилия поршневой полости давление в штоковой полости увеличивается в 1,68 раза по отношению к давлению в магистрали высокого давления. Через открытый гидрозамок водная эмульсия из штоковой полости вытесняется в поршневые полости стоек через обратные клапаны.

После достижения конечного порогового давления в поршневых полостях стоек, которое можно задать величиной 80...90 % от рабочего сопротивления, контакты реле размыкаются и электромагнит электрогидравлического распределителя ЭКУ обесточивается. Его распределитель отсекает СГР от магистрали высокого давления и соединяет со сливной магистралью. При этом поршневая полость мультипликатора соединяется со сливной магистралью. Мультипликатор и СГР занимают исходное положение.

Стендовые испытания подтвердили правильность технических решений, принятых в СГР. Система гарантированного начального распора может применяться в любых типах механизированных крепей для технологии как струговой, так и комбайновой выемки угля.

Электрогидравлическая система управления струговой механизированной крепью

Электрогидравлическая система управления (далее система) разработана для автоматизированного управления струговой механизированной крепью при выемке пологонаклонных угольных пластов в шахтах, опасных по газу и угольной пыли.

Система представляет собой локальную сеть, распределенную вдоль лавы на секциях механизиро-

ванной крепи, обеспечивающую возможность управления секциями крепи в количестве до 200 единиц, при этом система автоматически определяет порядковый номер секции крепи в лаве.

Основные элементы системы: посты управления секцией, датчики давления, датчики положения секции и электрогидроклапаны, размещенные на секциях крепи.

Система имеет возможность программирования производственных процессов в зависимости от условий добычи угля и обеспечивать управление секциями крепи из лавы с постов управления секциями, при этом выполняются следующие режимы работы.

В автоматическом режиме могут осуществляться передвижка конвейера и секций с подпором (контакт с кровлей), операции по распору всех стоек, сокращение всех стоек, сокращение гидроцилиндра передвижки секций, раздвижка гидроцилиндра передвижки секции, корректировка секции в плоскости пласта в ручном режиме. Датчики положения секции устанавливаются на каждой секции и предназначены для автоматического выполнения передвижки секций и конвейера. Сигнализаторы давления (датчики контроля давления) устанавливаются на каждой стойке и предназначены для обеспечения контроля давления в поршневых полостях стоек.

Электрогидравлическая система была установлена на секциях крепи 2МКС216 (2КТК) и успешно прошла стендовые испытания.

Механизированная крепь 3МКС

Для отработки угольных пластов мощностью до 0,9...1,0 м наиболее целесообразно применение струговых установок отрывного типа, работа которых с механизированными крепями агрегатированного типа конструктивно затруднительна и экономически нецелесообразна. Поэтому ШахтНИУИ

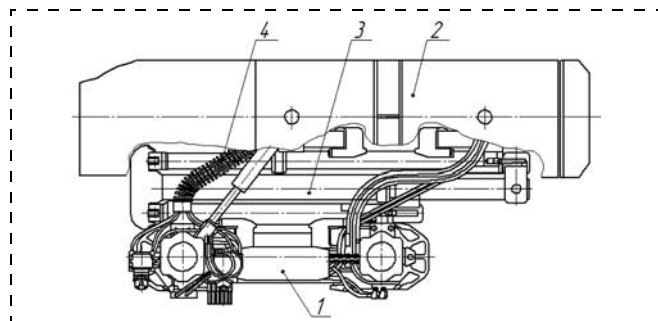


Рис. 6. Комплект крепи 3МКС:
1 — секция правая; 2 — секция левая; 3 — механизм передвижки; 4 — гидрооборудование комплекта

проводит работы по модернизации существующих струговых установок отрывного типа и созданию более совершенных крепей комплектного типа. Модернизация струговой установки направлена на повышение ее надежности и расширения области применения. Для повышения эффективности применения струговых установок отрывного типа ШахтНИУИ создал механизированную струговую крепь ЗМКС комплектного типа.

Крепь механизированная струговая ЗМКС (рис. 6) предназначена для механизации крепления и управления кровлей и является опорой для домкратов передвижки конвейера со стругом, в лавах угольных пластов мощностью 0,7...1,1 м с углами падения до 35° с кровлями средней устойчивости.

Основные технические характеристики крепи ЗМКС

Высота секции крепи, мм	560...1100
Соппротивление крепи кН/м ² (тс/м ²)	370...400 (37...40)
Соппротивление крепи кН/м (тс/м)	1300 (130)
Шаг установки комплектов, м	1,7
Коэффициент затяжки кровли	0,77

ШахтНИУИ считает, что использование представленных в статье машин позволит расширить область применения струговых механизированных комплексов, повысить их надежность, безопасность эксплуатации, нагрузку на очистной забой, экономическую эффективность добычи угля при разработке весьма тонких угольных пластов России, ближнего и дальнего зарубежья.

УДК 622.232.83, 622.619

В. Г. Хазанович, канд. техн. наук, проф.,
ШИ(ф) ЮРГТУ (НПИ), г. Шахты

E-mail: khazanovich.v@mail.ru

Повышение эффективности технической эксплуатации погрузочных машин непрерывного действия

Разработаны методика и алгоритм определения затрат потребителя при эксплуатации горно-проходческих машин с учетом прогнозных показателей надежности и оптимальной стратегии планирования объемов поставок запасных частей на примере погрузочных машин непрерывного действия.

Ключевые слова: погрузочные машины, прогнозные показатели надежности, объемы поставок запасных частей, обеспечение запасными частями.

V. G. Khazanovich

Improved Technical Manual Loaders Continuous

The technique and algorithm costing consumers in the operation of mining machines with predictive reliability and optimal scheduling strategy in the supply of spare parts in case of continuous loading machines.

Keywords: loading machines, expected indicators of reliability, volumes of deliveries of spare parts, parts support.

Для современных шахтных погрузочных машин (ШПМ), применяемых при проведении подготовительных выработок, характерны низкий уровень надежности, высокие затраты на техническую эксплуатацию и недостаточная обеспеченность запасными частями [1]. Эти недостатки обуславливают низкую эксплуатационную производительность машин и, в результате, существенно сни-

жают эффективность горного предприятия. Для решения сложившейся проблемы в Шахтинском институте (филиале) ЮРГТУ (НПИ) обоснован ряд направлений, заключающихся в совершенствовании погрузочных машин путем коренной модернизации исполнительных органов на основе использования клиновых погрузочных элементов и гидропривода; разработке и реализации методики

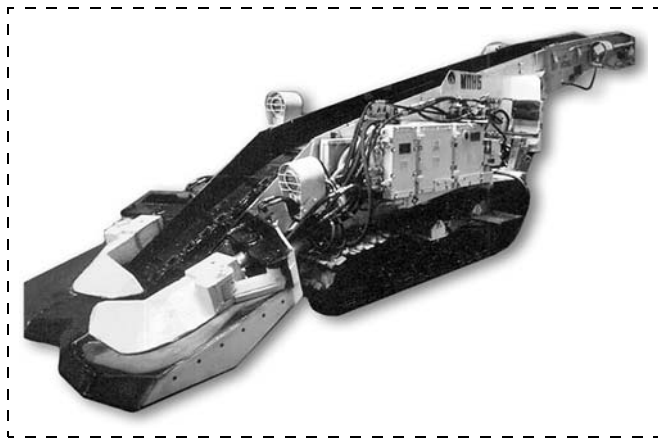


Рис. 1. Погрузочная машина МПНК

технико-экономической оценки эффективности эксплуатации машин с учетом показателей надежности и организации системы снабжения запасными частями.

Одним из этапов решения рассмотренной проблемы явились разработка, создание и испытание погрузочной машины МПНК (рис. 1) с клиновыми нагребными лапами и гидроприводом [2, 3].

Шахтная гидрофицированная погрузочная машина непрерывного действия МПНК оснащена рабочим органом с плоским движением клиновых в поперечном сечении нагребных лап, шарнирно закрепленных на плите питателя, с возможностью перемещения по ней силовых гидроцилиндров, размещенных внутри корпусов нагребных лап, системы управления гидроприводом погрузочного органа, приемной части передаточного конвейера машины. Ходовая тележка, передаточный конвейер, их привод и электрооборудование унифицированы с серийной буропогрузочной машиной МПНБ. Гидрооборудование машины МПНК состоит из плунжерного и двух аксиально-поршневых насосов, двух гидродвигателей вращательного и одиннадцати поступательного действия, гидрораспределителей, аппаратуры предохранения и контроля. При этом гидросистема представляет собой три контура, приводящие в движение ходовую тележку, нагребные лапы и обеспечивающие вспомогательные операции (подъем, опускание, поворот конвейера и питателя) соответственно.

Принцип работы и технологические схемы использования погрузочной машины МПНК соответствуют погрузочным машинам непрерывного действия типа 1ПНБ2, 2ПНБ2, МПН.

Экспериментальные исследования взаимодействия клинового рабочего органа со штабелем по-

гружаемого материала на полноразмерном образце в условиях натурного стенда доказали работоспособность и эффективность клинового погрузочного органа в сравнении с традиционными нагребными рычагами-лапами на рядовом штабеле высотой 0,7...1,4 м. При экспериментальных исследованиях проведена проверка работоспособности гидросистемы погрузочного органа, оценена возможность работы клиновых лап при выгрузке штабеля небольшой высоты. Проведенные испытания опытного образца машины МПНК позволили заключить, что гидросистема рабочего органа с использованием двух гидроцилиндров работает устойчиво, а рабочий орган в виде двух клиновых лап обеспечивает устойчивый отбор материала и при экстремальных условиях: малая высота штабеля (0,3...0,6 м) и мелкокусковая фракция сыпучего материала (30...60 мм) [4, 5].

Следующий этап проводимых исследований заключался в определении прогнозных показателей надежности экспериментального образца погрузочной машины и оценке эффективности ее эксплуатации. К исследованиям приняты: в качестве базового образца — серийная машина 2ПНБ2 (МПН) и экспериментальный образец машины МПНК. Для сопоставления приняты кинематические схемы, реализованные в шахтных погрузочных машинах МПН (гусеничная ходовая тележка с гидравлическим приводом вращательного действия, нагребная часть и конвейер с электро-механическим приводом по аналогии с машиной 2ПНБ2) и опытным образце шахтной погрузочной машины МПНК (рабочий орган с клиновыми нагребными лапами и гидроприводом поступательного действия, ходовая тележка и конвейер заимствованы с машины МПН).

В результате сбора и обработки полученной информации о работоспособности шахтных погрузочных машин непрерывного действия определены параметры распределения наработки на отказ и времени восстановления быстроизнашиваемых узлов, деталей и частей [6, 7] и их прогнозные значения для опытного образца (табл. 1).

Объективным критерием оценки эффективности эксплуатации ШПМ наряду с производительностью и удельными энергозатратами приняты приведенные (удельные) затраты потребителя C . Решение о проектировании той или иной конструкции погрузочной машины принимается после определения минимальных удельных затрат на ее эксплуатацию ($C \rightarrow \min$) при обеспечении производительности не ниже заданной $Q \geq Q_{\text{тр}}$,

где $Q_{\text{тр}}$ — требуемый уровень производительности машины.

Технико-экономическая оценка эффективности принятых к исследованию погрузочных машин, основанная на моделировании процесса работы машины с учетом показателей надежности, позволяет оценить уровень ее технического совершенства и определить степень влияния надеж-

ности конструктивного исполнения на производительность. Экономическую целесообразность применения опытных образцов принято определять с учетом качества системы управления поставками запасных частей погрузочных машин.

Моделирование рабочих процессов ШПМ и процессов обеспечения технической эксплуатации преследует цель определять приведенные затраты потребителя с учетом случайного потока отказов и восстановления работоспособного состояния отдельных узлов и частей машины на любой момент отработки ресурса с возможностью прогнозирования ожидаемых эксплуатационных показателей и принятия решения об эффективности применения конкретной конструкции машины.

Алгоритм имитационной модели функционирования погрузочной машины осуществляет детализацию действий пользователя при определении технико-экономических показателей машин с учетом методики прогнозирования объемов и номенклатуры запасных частей [8]. При разработке алгоритма использованы математические модели производительности, времени маневровых и вспомогательных операций, затрат на запасные части, эксплуатацию машины при отработке заданного ресурса. Рассматриваемый алгоритм построен в виде отдельных блоков (рис. 2).

Так, в **БЛОК 1** вносят:

1. Данные:

по характерным отказам: интенсивность отказов и восстановлений, закон распределения наработки на отказ, закон распределения времени восстановления по машине, модулям и деталям, параметры закона распределения, трудоемкость работ по восстановлению работоспособного состояния;

по деталям погрузочных машин: наименование и маркировка детали, стоимость, коэффициент вариации и номенклатурная группа, место хранения, закон распределения наработки между отказами, времени восстановления, параметры законов распределения.

2. Сведения о местах хранения и наличии запасных частей: дальность расположения складов $L_{\text{скл}}$ (завода-изготовителя, регионального склада, склада потребителя и др.), число деталей по наименованиям.

3. Определение технико-экономических показателей применения погрузочных машин в исследуемый период эксплуатации: стоимость машины $C_{\text{маш}}$; удельная стоимость доставки $u_{\text{дост}}$, руб./км;

Таблица 1

Прогнозные показатели надежности экспериментального образца погрузочной машины МПНК

Узел машины (деталь)	Назначенный ресурс $T_{\text{н.р.}}$, м ³	Наработка на отказ V_0 , м ³	Время восстановления $T_{\text{в}}$, ч	Параметр экспоненциального закона распределения потока отказов $\lambda \cdot 10^{-3}$	Параметр экспоненциального закона распределения потока восстановления μ
<i>Нагребающая часть</i>					
Лапа	20 000	20 000	2,00	0,0500	0,5000
Шарниры	20 000	1600	12,0	0,0625	0,0833
Гидораспределитель	20 000	6500	3,00	0,1539	0,3333
Уплотнения гидроцилиндров	20 000	7000	0,75	0,1429	1,3330
Гидроцилиндр	25 000	8000	3,00	0,1250	0,3333
Питатель	100 000	20 000	3,00	0,0500	0,3333
Итого по нагребающей части	100 000		3,75	0,5840	0,2526
<i>Ходовая часть</i>					
Ходовой вал		5200	6,00	0,1923	0,1667
Цепь гусеничная		4500	3,00	0,2220	0,3333
Итого по ходовой части	100 000			0,4140	0,2220
<i>Конвейер</i>					
Соприжение конвейера		5500	1,00	0,1818	1,0000
Хвостовая часть		6800	65,00	0,1471	0,1662
Цепь скребковая		5200	1,00	0,1923	1,0000
Итого по конвейеру	100 000		1,00	0,3390	1,0000
<i>Гидрооборудование</i>					
Гидроблок	20 000	2700	0,67	0,3704	1,4900
Гидромотор	20 000	2300	6,00	0,4348	0,1667
Гидроцилиндр натяжения траковой цепи	20 000	1800	3,00	0,5560	0,3330
Гидрокоммуникации	20 000	4000	0,50	0,2500	2,0000
Насос, питающий гидравлику	20 000	6200	3,00	0,1613	0,3330
Гидрозамок	20 000	6300	3,00	0,1587	0,3330
Насос	20 000	1400	6,00	0,7143	0,1667
Итого по гидрооборудованию	20 000		3,02	2,6460	0,3140

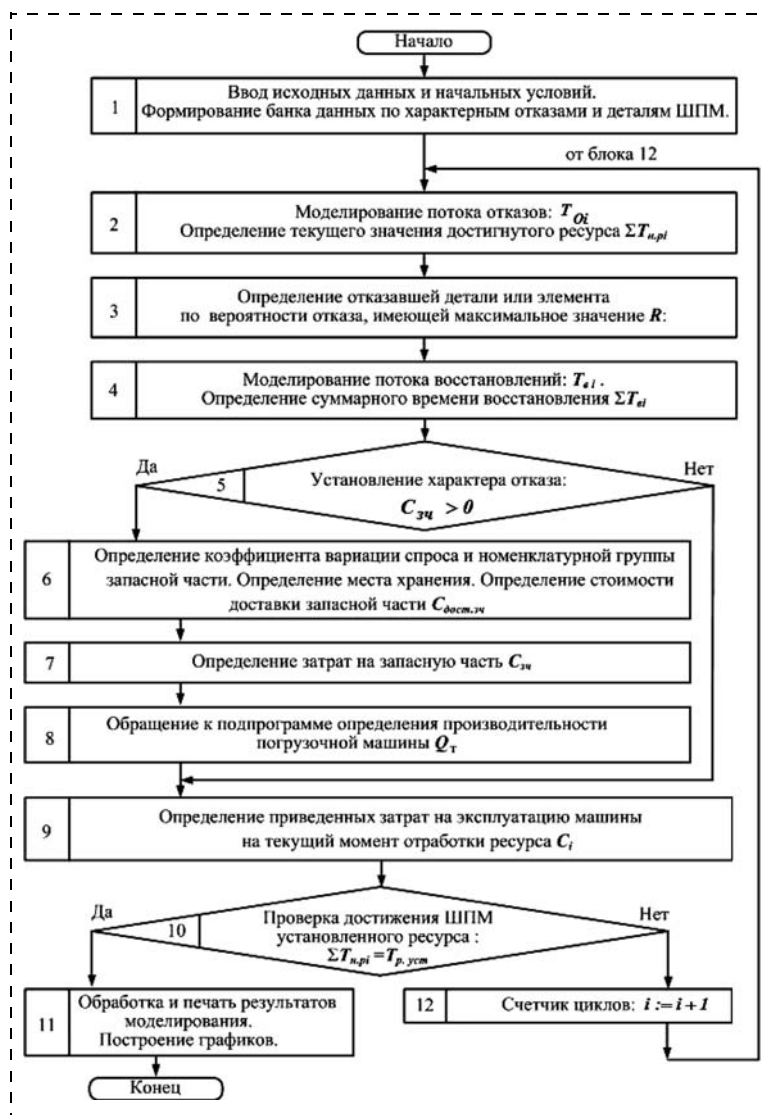


Рис. 2. Блок-схема алгоритма определения затрат на техническую эксплуатацию погрузочных машин

стоимость капитального ремонта K ; действующий тариф на потребляемую электроэнергию z , руб./(кВт · ч); тарифная ставка проходчика $\tau_{пр}$, руб./см; заработная плата ремонтного рабочего τ_p , руб./ч, и другие.

4. Начальные условия: нормативы проведения технических воздействий; начальный ресурс (m^3 или ч) — для новой техники $\Sigma T_{рес.0} = 0$, $\Sigma T_{в.детали_i} = 0$, $\Sigma T_{в_i} = 0$.

БЛОК 2. Моделирование потока отказов. Генерация времени безотказной работы по машине в целом T_{O_i} . Определение текущего значения достигнутого ресурса $\Sigma T_{н.р_i} = \Sigma T_{н.р_{(i-1)}} + T_{O_i}$.

БЛОК 3. Определение детали или элемента с максимальной вероятностью отказа при текущем значении достигнутого ресурса, характера отказа: отказ с ремонтом, отказ с заменой детали. Для этого выполняют:

определение числа периодов замен по деталям путем выделения целой части отношения достигнутого ресурса к средней наработке между отказами детали $\Sigma T_{н.р_i} / T_{о.детали} = N_i$;

определение остаточного ресурса для каждой детали

$$T'_{O_i} = \Sigma T_{н.р_i} - T_{о.детали} N_i;$$

определение вероятности наступления отказа при текущем значении остаточного ресурса

$$R(T'_O) = 1 - P(T'_O);$$

выбор максимального значения вероятности отказа

$$R = \max\{R_i(T'_O)\}.$$

БЛОК 4. Моделирование потока восстановлений для отказавшего элемента (детали). Генерация времени восстановления по машине в целом. Определение суммарного значения времени восстановления по элементам и машине в целом:

$$\Sigma T_{в.детали_i} = \Sigma T_{в.детали_{(i-1)}} + T_{в.детали_i},$$

$$\Sigma T_{в_i} = \Sigma T_{в_{(i-1)}} + T_{в_i}.$$

БЛОК 5. Установление характера отказа. Если по описанию наступившего характерного отказа не предусмотрена замена детали, например, засорился золотник, и для устранения необходимо выполнить работы по его прочистке, в базе данных для соответствующей позиции затраты на запасные части (стоимость детали) равны нулю, т.е. $C_{зч} = 0$.

При условии, если $R = \max\{R_i(T'_O)\}$ принадлежит отказу с ремонтом без замены детали, в расчете затрат предприятия на восстановление работоспособного состояния учитывается только стоимость ремонта, без стоимости запасных частей.

Если $R = \max\{R_i(T'_O)\}$ принадлежит отказу, устранение которого предусматривает замену детали, проводят расчет затрат потребителя, связанных с заменой изношенной детали (одной, так как оп-

ределен Пуассоновский поток отказов: стационарный, ординарный, без последствия).

БЛОК 6. Обращение к базе данных по запасным частям и деталям, определение коэффициента вариации спроса на запасную часть или деталь и номенклатурной группы запасной части. Определение места хранения запасной части: склад завода-изготовителя, региональный склад, склад потребителя. Определение стоимости доставки запасной части $C_{\text{дост.зч}} = L_{\text{скл}} \cdot y_{\text{дост.}}$.

БЛОК 7. Определение затрат на запасную часть или деталь, подлежащую замене, с учетом оптимальной стратегии (оптимального количества запасных частей), т. е. наиболее выгодного прогноза потребности в запасных частях.

Если при принятии стратегии фактический расход деталей q_j совпадает с прогнозным расходом q_i , т. е. $q_i = q_j$, затраты на запасные части складываются из затрат на приобретение и хранение запасных частей на складе и определяются по формуле:

$$C_{\text{зч}} = C_{\text{д}} q_i + C_{\text{х}} q_i + C_{\text{дост.зч}},$$

где q_i — прогноз потребности в запасных частях определенной номенклатуры, соответствующий определенной стратегии, шт.; $C_{\text{д}}$ — цена запасной части, руб.; $C_{\text{х}}$ — стоимость хранения одной детали на складе, руб.

При $q_i > q_j$ $C_{\text{зч}}$ складываются из затрат на приобретение и хранение излишних запасных частей:

$$C_{\text{зч}} = C_{\text{д}}(q_i - q_j)k + C_{\text{х}}(q_i - q_j) + C_{\text{дост.зч}},$$

где k — коэффициент, учитывающий плату за сверхнормативные запасы;

при $q_i < q_j$ $C_{\text{зч}}$ складываются из издержек, вызванных отсутствием необходимых запчастей на складе:

$$C_{\text{зч}} = C_{\text{д}} + (q_i - q_j)C_{\text{п}} + C_{\text{дост.зч}},$$

где $C_{\text{п}}$ — убытки предприятия от простоя одной машины из-за неудовлетворенного спроса на запасные части, руб./шт.

БЛОК 8. Обращение к подпрограмме определения производительности ШПМ: $Q_{\text{т}} = Q_{\text{тр}} K_{\text{м}} K_{\text{Гi}}$, где $Q_{\text{тр}}$ — требуемая производительность погрузочной машины, м³/ч; $K_{\text{м}}$ — коэффициент времени маневровых и вспомогательных операций; $K_{\text{Гi}}$ — текущее значение коэффициента готовности.

БЛОК 9. Определение приведенных затрат на эксплуатацию машины на любой момент отработки ресурса:

$$C_i = \frac{\frac{C_{\text{маш}}}{T_{\text{ф}}} K_{\text{о}} \alpha + \frac{\tau_{\text{пр}}}{t_{\text{см}}} \left(n_{\text{м}} + \frac{T_{\text{всп}}}{t_{\text{см}}} \right) + N_{\Sigma} K_{\text{с}} \tau z}{Q_{\text{т}}} +$$

$$+ \frac{\frac{\Sigma T_{\text{н.р.}i}}{T_{\text{кр}}} K \alpha + \left(C_{\text{ро}} \frac{\Sigma T_{\text{н.р.}i}}{T_{\text{р.о}}} + \sum_{j=1}^l C_{\text{т}} \frac{\Sigma T_{\text{н.р.}i}}{T_{\text{т.}j}} \right)}{Q_{\text{т}} \times}$$

$$\rightarrow \frac{+ \Sigma T_{\text{н.р.}i} \lambda (\tau_{\text{р}} m T_{\text{в.ср}} + C_{\text{зч}})}{\times \Sigma T_{\text{н.р.}i}},$$

где $C_{\text{маш}}$ — балансовая стоимость машины для потребителя, руб.; $T_{\text{ф}}$ — фактический ресурс для списания, ч; $K_{\text{о}}$ — коэффициент, учитывающий заготовительно-складские расходы; α — коэффициент, учитывающий затраты на демонтаж, транспортировку и монтаж машины при каждом капитальном ремонте; $\tau_{\text{пр}}$ — тарифная ставка проходчика со всеми доплатами и начислениями, руб./см; $t_{\text{см}}$ — расчетная (чистая) продолжительность смены, ч; $n_{\text{м}}$ — число проходчиков, занятых на основных операциях; $T_{\text{всп}}$ — суммарная трудоемкость вспомогательных работ за смену, чел.-ч/м³; N_{Σ} — суммарная энерговооруженность машины, кВт; $K_{\text{с}}$ — средний коэффициент спроса в течение смены; τ — относительная продолжительность работы оборудования за смену, ч; z — тариф на электроэнергию, руб./(кВт · ч); $\Sigma T_{\text{н.р.}i}$ — достигнутый ресурс машины, ч; $T_{\text{кр}}$ — реальная средняя длительность ремонтного цикла, ч; K — калькуляционная стоимость ремонта машины на рудоремонтном заводе, руб.; $T_{\text{р.о.}}$, $T_{\text{т.}j}$ — наработка машины на ремонтный осмотр и текущий ремонт j -го типа соответственно; l — число текущих ремонтов j -го типа; $C_{\text{ро}}$, $C_{\text{т}}$ — затраты на ремонтные осмотры оборудования и проведение текущих ремонтов соответственно, руб.: $C_{\text{ро}} = \tau_{\text{р}} q_{\text{ро}} + C_{\text{рм}}$, $C_{\text{т}} = \tau_{\text{р}} q_{\text{т}} + C_{\text{зч}} + C_{\text{рм}}$, здесь $\tau_{\text{р}}$ — средняя часовая зарплата рабочего-ремонтника с доплатами и начислениями, руб./ч; $q_{\text{ро}}$, $q_{\text{т}}$ — трудоемкость выполнения ремонтного осмотра и текущего ремонта соответственно, чел.-ч; $C_{\text{зч}}$, $C_{\text{рм}}$ — затраты на запасные части и расходные материалы соответственно, руб.; λ — интенсивность отказов

машины; $T_{в.ср}$ — среднее время устранения отказа ШПМ, ч; m — число рабочих-ремонтников, занятых устранением отказа.

БЛОК 10. Проверка достижения установленного ресурса $\Sigma T_{н.р_i} = T_{р.уст}$. При достижении машиной установленного ресурса переход к **БЛОКУ 11** — происходит обработка результатов моделирования и выдача результатов. Если ресурс не достиг предельного (установленного) значения, проводится расчет номера цикла в **БЛОКЕ 12** и цикл повторяется.

Прогнозные технико-экономические показатели эффективности эксплуатации нового образца погрузочной машины МПНК в сравнении с базовым вариантом приведены в табл. 2. Анализ результатов установил существенное повышение надежности нагребающей части машины МПНК [3], что повлекло за собой снижение удельных затрат при ее эксплуатации. Как видно из данных таблицы, совокупные удельные затраты при использовании машины с клиновыми элементами на 15...16 % ниже, чем у серийной машины 2ПНБ-2.

Удельный вес затрат на ликвидацию отказов значителен и составляет в общих затратах 25...27 % на конец первого межремонтного цикла и 33...35 % на момент отработки общего ресурса машины.

В качественном отношении следует отметить, что значительные колебания по затратам в начальный период эксплуатации, после погрузки 20...25 тыс. м³ выравниваются и случайный процесс сказывается незначительно на изменения целевой функции —

удельных затрат, особенно при учете всех расходов на обслуживание машины.

Таким образом, результатом внедрения научных исследований в производство явилось создание совместно с Копейским машиностроительным заводом шахтной погрузочной машины МПНК нового технического уровня с клиновыми нагребающими элементами и гидроприводом поступательного действия.

Список литературы

1. Носенко В. В. Сервисное обеспечение эксплуатации и унификация горнопроходческих машин / В. Г. Хазанович, В. В. Носенко, С. Д. Сазонов // Горное оборудование и электромеханика. 2009. № 4. С. 8—12.
2. Носенко А. С., Хазанович В. Г. Основные результаты исследований, разработки и создания шахтных погрузочных машин с гидравлическими приводами / Механизация и электрофикация горных работ: Сб. науч. тр. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. Новочеркасск: ЮРГТУ, 1999. С. 54—58.
3. Носенко А. С., Хазанович В. Г. Применение гидроприводов поступательного действия на погрузочных органах как фактор повышения надежности // Вопросы горной электромеханики: Сб. науч. тр. / Новочерк. гос. техн. ун-т. Новочеркасск: НГТУ, 1994. С. 92—96.
4. Хазанович Г. Ш., Носенко А. С. Результаты экспериментальных исследований модели погрузочного органа с клиновыми нагребающими лапами // Грузоподъемные и погрузочные машины: Межвуз. сб. Новочеркасск: НПИ, 1985. С. 69—75.
5. Хазанович В. Г. Экспериментальные исследования производительности шахтных проходческих машин / В. Г. Хазанович, А. С. Носенко, Р. В. Каргин, А. А. Филоненко // Горное оборудование и электромеханика. 2010. № 1. С. 19—22.
6. Хазанович В. Г. Эксплуатация горнопроходческого оборудования и надежность шахтных погрузочных машин в условиях Восточного Донбасса / В. Г. Хазанович, А. С. Носенко, В. П. Тулупов, С. И. Носенко // Технология и механизация горнопроходческих работ: Сб. науч. тр. / Юж.-Рос. отд.-ние АГНТ РФ; Новочерк. гос. техн. ун-т. Новочеркасск: НГТУ, 1997. С. 80—83.
7. Хазанович В. Г. Выбор комплектов оборудования для проведения подготовительных выработок на основании фактических показателей надежности / В. Г. Хазанович, А. С. Носенко, Е. А. Шемшур, В. В. Носенко // Горное оборудование и электромеханика. 2009. № 7. С. 8—11.
8. Хазанович В. Г., Носенко В. В. Экспериментальные исследования сервисного обеспечения эксплуатации горно-проходческих машин в условиях Российского Донбасса / Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения: Сб. ст. XII Междунар. науч.-техн. конф., г. Воркута, 2008. С. 310—319.

Таблица 2

Результаты расчетов по удельным затратам потребителя на техническую эксплуатацию погрузочных машин

Показатель (узел)	$C_{уд 1}$, уд.е/м ³	$C_{уд 2}$, уд.е/м ³
Нагребающая часть	9,4/6,6	9,4 /6,4
Ходовая часть	6,9/3,6	7,5/3,6
Конвейер	12,1/6,7	10,0/7,0
Гидрооборудование	6,3/5,5	8,7/9,4
Итого по затратам на ликвидацию отказов	32,2/24,3	33,4/26,1
Прямые затраты на техническое обслуживание машины	41/41	31/31,6
Интегральные затраты потребителя на эксплуатацию машины	107,2/90,7	98,9/84,1
Примечание: в числителе — машины типа 2ПНБ-2; в знаменателе — машина МПНК; уд.е — условные денежные единицы; $C_{уд 1}$ — на момент отработки ресурса до 1-го капитального ремонта ($2 \cdot 10^4$ м³); $C_{уд 2}$ — на момент отработки полного ресурса до списания (10^5 м³).		

УДК 622:271.3

В. Г. Мерзляков, д-р техн. наук, проф., ген. директор, ООО "МОГОРМАШ",
Б. В. Слесарев, канд. техн. наук, зам. ген. директора, ЗАО "Майнинг Солюшинс",
В. М. Штейнцайг, канд. техн. наук, представитель "Komatsu Mining Germany" в СНГ

E-mail: mgou-vgm@mail.ru

Опыт применения карьерных гидравлических экскаваторов Komatsu Mining Germany на предприятиях России

Рассмотрен опыт применения гидравлических экскаваторов KMG при открытом способе разработки твердых полезных ископаемых на предприятиях России. Приведены технико-экономические показатели их работы, в том числе в сложных горно-геологических и климатических условиях.

Ключевые слова: гидравлические экскаваторы, открытый способ разработки, показатели работы, сложные горно-геологические и климатические условия.

V. G. Merzlyakov, B. V. Slesarev, V. M. Shteinzaig

Experience Operation Hydraulick Shovels Komatsu Mining Germany on the Mining of Russia

Considered the experience of the use of hydraulic shovels KMG under the open method of the development of solid mineral resources at the enterprises of Russia. Given the technical and economic indicators of their work, including in complex mining-geological and climatic conditions.

Keywords: hydraulic shovels, open method of the development, technical and economic indicators of their work, complex mining-geological and climatic conditions.

Интенсификация открытого способа разработки твердых полезных ископаемых в значительной степени определяется применением современных комплексов оборудования большой единичной мощности, в которых головным является экскаватор. Во многих исследовательских работах неоднократно рассматривалась целесообразность технического перевооружения горных предприятий с вытеснением карьерных механических лопат с электроприводом основных механизмов экскаваторами с гидроприводом.

Выполненный нами сравнительный анализ силовых и кинематических параметров карьерных механических лопат и гидравлических экскаваторов показывает, что первые не имеют существенных преимуществ по сравнению со вторыми в высоте копания. Что же касается радиуса копания на уровне стояния, то гидравлические экскаваторы имеют возможности выемки породы на большем расстоянии от ходового устройства и горизон-

тального перемещения ковша вдоль уровня установки, а также, что принципиально отличает эти два типа машин, копать ниже уровня установки, обеспечивая себе нужные углы наклона съезда для перехода на другие рабочие горизонты.

Механические лопаты, при равных максимальных высотах копания и вместимости ковша, почти в 2 раза проигрывают гидравлическим экскаваторам по массе и в известной пропорции — по стоимости. Максимальные значения усилий подъема ковша у мехлопат развиваются на блоке его коромысла при вертикальном положении подъемных канатов и горизонтальном расположении рукояти напора, реализация которых на зубьях ковша в этом положении фактически снижается за вычетом массы ковша с грузом породы и одной трети массы рукояти.

Опыт работы зарубежных предприятий подтверждает возможность широкомасштабного применения карьерных гидравлических экскаваторов,

в том числе в самых сложных горно-геологических и климатических условиях. Десять лет назад доля гидравлических экскаваторов во всем парке машин с ковшами вместимостью более 12 м^3 составляла не более 30 %. В настоящее время около 85 % машин, поставляемых на открытые горные работы, составляют карьерные гидравлические экскаваторы (суммарно более 3000 машин с ковшом вместимостью более 15 м^3) и только 15 % — мехлопаты с электроприводом.

В России производственное применение гидравлических экскаваторов началось в Якутии в начале 1980-х гг. и в настоящее время активно распространяется по всему Сибирскому региону. Горные предприятия АК "АЛРОСА" и ОАО ХК "Якутуголь" более 10 лет применяют карьерные гидравлические экскаваторы производства Komatsu Mining Germany (KMG). В настоящее время экскаваторы этого типа применяются также в ОАО "Кузбассразрезуголь", ОАО "Междуречье", ОАО "Южный Кузбасс", ОАО "Коршуновский ГОК".

Крупномасштабное внедрение мощных экскаваторов получило свое начало в суровых условиях Якутии. На Нерюнгринский угольный разрез в "Якутуголь" было поставлено восемь экскаваторов, из которых три модели РС-8000Е (рис. 1, см. 2-ю стр. обложки) с ковшом вместимостью до 40 м^3 и высоковольтным (6 кВ) двигателем привода основных гидравлических насосов.

За последние 10 лет завод KMG поставил более 60 мощных экскаваторов на горные предприятия России и СНГ с ковшами от 15 до 42 м^3 и рабочей массой от 300 до 750 т. На угольные предприятия были поставлены 48 % всех машин, в том числе в Кузбасс 10 экскаваторов РС-5500, 2 экскаватора РС-4000 и 6 экскаваторов РС-3000. Из общего числа поставленных в СНГ машин, в Казахстане и Украине работают только 10 %, а 90 % — в России.

До 50 % экскаваторов было поставлено с высоковольтными (6 кВ) электрическими приводами (с асинхронными короткозамкнутыми двигателями) главных насосов. При селективной выемке маломощных угольных пластов наиболее востребованным оказался экскаватор РС-3000ВН с удлиненным рабочим оборудованием и ковшом 8 м^3 , который в 2 раза меньше стандартного (16 м^3). Остальные экскаваторы с ковшами вместимостью от 26 до 40 м^3 выполняют вскрышные работы с погрузкой в большегрузный автотранспорт грузоподъемностью до 300 т.

Экскаватор РС-3000 с рабочим оборудованием "обратная лопата" имеет широкие возможности для применения не только для погрузки в автомобильный транспорт, но также в железнодорожный и

в забойные перегружатели в средствах циклично-поточной технологии.

В ОАО "Мордовцемент" эксплуатируются три экскаватора РС-3000 — одна "прямая лопата" и две машины с рабочим оборудованием "обратная лопата". В применяемых технологических схемах предполагалось наиболее эффективной технология с конвейерным транспортом, следующая по эффективности — с автомобильным транспортом и наименее эффективной — технология погрузки в железнодорожный транспорт. Фактические результаты при работе в идентичных забоях без буровзрывной подготовки при разработке пород крепостью до 10 по шкале проф. М. М. Протоdjяконова показали, что техническая производительность развивается на одном уровне. Эксплуатационная производительность оказалась по факту в ОАО "Мордовцемент" выше в схеме с железнодорожным транспортом (рис. 2, см. 2-ю стр. обложки), а показатели с применением конвейерного транспорта оказались на третьем месте.

Определяющим фактором является надежность гидравлических экскаваторов нового поколения, уровень которой зависит от прикладываемых квалифицированных сервисных усилий. В процессе научных и практических действий по сервисному обслуживанию, которое более пяти лет осуществляет ООО "МОГОРМАШ", для шести экскаваторов типа РС-3000 (при погрузке в автомобильный, железнодорожный и конвейерный транспорт) был обеспечен коэффициент их технической готовности на уровне $0,94...0,98$.

Для проведения качественного сервисного обслуживания гидравлических экскаваторов в целях обеспечения их эффективной эксплуатации ООО "МОГОРМАШ" разработало механизированный маслозаправочный агрегат МЗА. Этот агрегат предназначен для обслуживания и заправки маслами и смазками дизель-гидравлических карьерных экскаваторов, бульдозеров, погрузчиков, автосамосвалов и другого карьерного оборудования. Область применения МЗА распространяется на регионы с резко-континентальным климатом с зимними колебаниями температур до -40°C . Возможна поставка модификаций агрегата для обслуживания карьерных машин в регионах с умеренным климатом.

МЗА выполнен в виде утепленного фургона, который устанавливается на шасси автомашины КамАЗ, КраЗ или их аналог. МЗА оборудован гидравлической системой, автономными источником электрической энергии (дизель-генератором), компрессором фирмы "ATLAS COPCO", системами внутреннего освещения и отопления

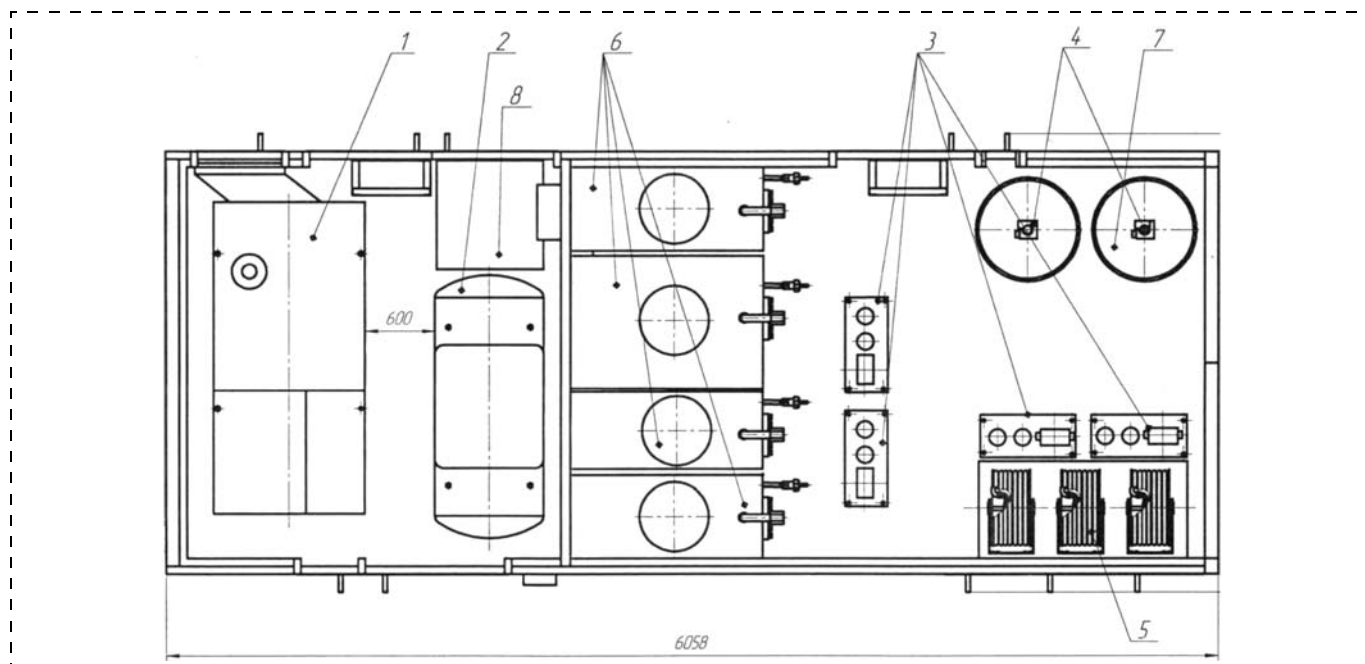


Рис. 3. Компоновочная схема агрегата МЗА-3:

1 — дизель-генераторная установка; 2 — компрессор производительностью $0,94 \text{ м}^3/\text{мин}$, давлением 10 бар; 3 — насосные агрегаты с шестеренчатыми насосами и фильтрующими элементами; 4 — бочечные насосы для консистентной смазки и трансмиссионного масла; 5 — отсек с шестью барабанами со шлангами длиной 15 м; 6 — емкости для моторного и гидравлического масел; 7 — бочки вместимостью по 200 л для консистентной смазки и трансмиссионного масла (не входят в комплект поставки); 8 — сварочный аппарат

с автоматической регулировкой температуры в кузове и возможностью подключения внешнего потребителя: три фазы, 380 В, 50 Гц.

Фургон МЗА состоит из двух отсеков. Компоновочная схема агрегата МЗА представлена на рис. 3.

В первом отсеке расположены дизель-генераторная установка 1, компрессор 2, сварочный аппарат 8, электрический шкаф управления. Отсек имеет две двери. Для вентиляции и охлаждения дизель-генератора предусмотрены жалюзи.

Во втором отсеке (рис. 4) установлено гидравлическое оборудование:

насосы для заправки гидрожидкости, антифриза, масел и смазок из емкостей МЗА в емкости экскаватора;

насосы для заправки масел, гидрожидкостей и антифриза в емкости МЗА;

фильтры, установленные на магистралях заправки масел;

емкости объемом 400, 1000, 1200 и 2000 л для охлаждающей жидкости, гидравлического, моторного и отработанного масел;

расходомеры, кроме емкостей консистентной смазки и отходов;

барабаны фирмы "Lincoln" с гидравлическими рукавами арктического исполнения с заправочными пистолетами.

Каждая из емкостей оборудована шестеренчатыми насосами (см. рис. 4, б) производства

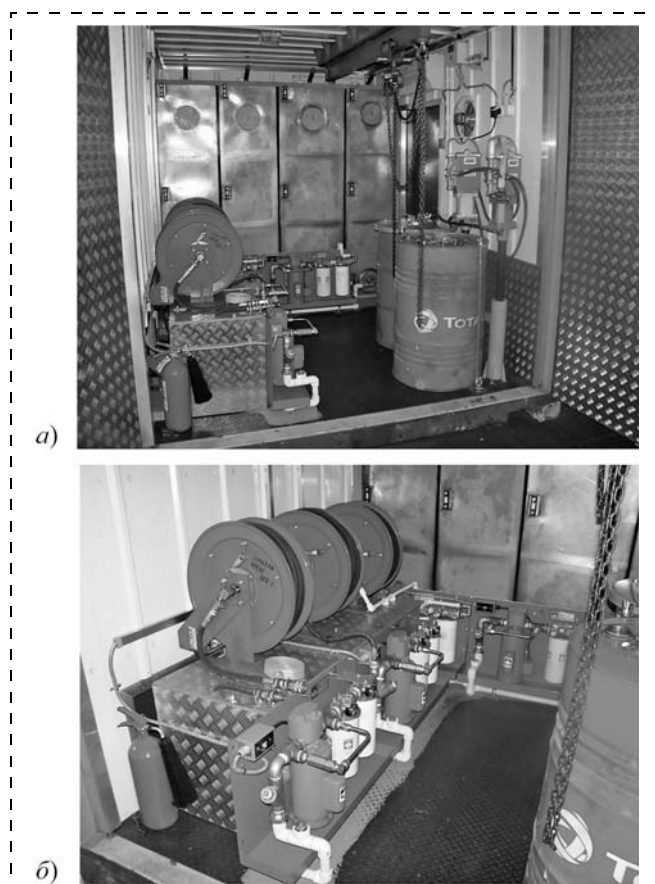


Рис. 4. Общий вид оборудования второго отсека МЗА (а) и установленные в нем перекачивающие насосные установки с фильтрами и барабаны фирмы "Lincoln" со шлангами (б)

"Rexroth", "Norman", "HYDAC" либо их аналог. Насосы установлены снаружи баков и доступ для их обслуживания обеспечен внутри кузова. Емкости оборудованы люками для очистки осадков и клапанами. Для перекачки консистентной смазки применяются погружные бочечные насосы производства "Lincoln". Емкость для отработанного моторного масла заправляется и сливается отдельным насосом, установленным на МЗА.

Для заправки емкостей МЗА моторными маслами и гидрожидкостями из двухсотлитровых бочек применяются две передвижные мобильные установки, состоящие из насосных агрегатов "мотор-насос" и фильтров.

На угольных разрезах Кузбасса экскаваторы типа РС-3000 применяются в технологических схемах погрузки горной массы как с железнодорожным, так и с автомобильным транспортом. Наиболее востребованы в Кузбассе более мощные экскаваторы РС-4000 и РС-5500 с ковшами от 22 до 29 м³, из которых 66 % имеют электрический привод главных насосов и успешно применяются на вскрышных работах угольных разрезов.

Анализ исполнения рабочего оборудования показал, что заказчики отдали предпочтение рабочему оборудованию "обратная лопата" в 58 % случаях из поставленных экскаваторов.

Высокая степень технической готовности экскаватора РС-4000Е и хорошая организация работ позволили на разрезе "Черниговский" компании СДС устойчиво ежемесячно отгружать 700 000 м³ вскрышных пород. Достигнуты также высокие показатели применения экскаваторов РС-3000 на месторождении кимберлитовых руд им. Гриба в Архангельском регионе. Так, машина с рабочим оборудованием "прямая лопата" обеспечивает устойчиво погрузку 500 000 м³/мес при экскавации вскрышных пород без проведения предварительной взрывной подготовки массива (рис. 5, см. 2-ю стр. обложки). Экскаватор РС-3000 с рабочим оборудованием "обратная лопата" и ковшом вместимостью также 15 м³ на этом же карьере обеспечивает производительность на уровне 380 000 м³. Эти машины имеют дизельный привод главных насосов, поэтому удастся реализовать преимущества гидравлических экскаваторов при применении их в гибких технологических схемах.

Рациональные условия по реализации технических возможностей экскаваторов, суммарная вместимость ковшей которых только в Кузбассе составляет около 300 м³, обеспечивает в несколько раз выше производительность, чем в Якутии при том, что на угольном разрезе "Нерюнгринский" ОАО "Якутуголь" суммарная емкость ковшей всего на

45 % меньше. Объясняется эта сравнительно низкая производительность не только более сложными условиями эксплуатации, но и организационными причинами. В Кузбассе управление осуществляется на девяти предприятиях по сравнению с одним предприятием в Якутии. Это обстоятельство подтверждает широкие возможности по применению работающих и намеченных к поставке в ближайшее время мощных экскаваторов КМГ.

Выполненные нами исследования в промышленных условиях угольного разреза "Нерюнгринский" позволили определить рациональные условия эксплуатации машин, режим и регламент сервисного обслуживания гидравлических приводов карьерных гидравлических экскаваторов.

Так, в процессе испытаний экскаватора РС-5500 были установлены следующие граничные значения угла откоса забоев в зависимости от температуры окружающей среды. При положительной температуре его значение равно 46°; в межсезонный период — 60°; в условиях экстремально низких температур — 72°. Установлены зависимости усилия напора и отрыва от высоты копания при различных радиусах копания для условий разработки забоев в наиболее тяжелых зимних условиях при углах откоса забоя в среднем 72°.

Анализ полученных зависимостей показывает, что максимальные усилия напора экскаватор развивает на уровне стояния. При высоте копания 2 м значения усилий снижаются на 25 %. На высоте копания от 2 до 10 м имеет место определенная стабилизация усилий копания, значения которых (50...75 % от максимальных) достигаются при радиусе копания от 9 до 16 м.

Это подтверждается зависимостями усилия напора от радиуса копания при различных значениях высоты копания. Анализ этих зависимостей показывает, что высота копания 6...8 м является предельно допустимой для эффективной реализации силовых возможностей гидравлического экскаватора.

Усилия копания гидравлического экскаватора зависят не только от усилий напора, но и от усилий отрыва. Канатные механические лопаты, в силу структуры своих конструктивных схем, не могут обеспечивать сколько-нибудь значительного усилия отрыва, поскольку не имеют возможности поворачивать ковш относительно рукояти.

Установлены зависимости усилия отрыва от высоты копания при значениях радиуса копания от 13...15 м, которые не снижаются ниже максимальных значений на 75 % (до 1500 кН) в диапазоне изменения высоты внедрения ковша от уровня стояния до 7 м. При высоте копания от 10 до 14 м

и радиусе копания 13...15 м также могут быть развиты определенные усилия отрыва, которые позволяют обрушить при необходимости козырьки и нависы породы в забое. В то же время эта зона не пригодна для эффективного наполнения ковша и обеспечения высокой производительности.

Усилия отрыва фактически незначительно изменяются во всем диапазоне изменения высоты копания от –2 до 12 м. Максимальные значения усилия отрыва развиваются при радиусах копания 10...13 м и высоте внедрения ковша в забой на уровне стояния, а также на высоте внедрения 10 м.

Установленные закономерности, подтвержденные экспериментально, позволяют рекомендовать "пакет" рациональных технологических параметров — сочетаний высот и радиусов копания, которые рекомендуют машинистам экскаватора начинать работу в верхней части забоя, предварительно зачистив подошву забоя при работе в незимних условиях и при отсутствии смерзания горной массы в забое. При этом внедрение ковша в забой целесообразно осуществлять за счет напорного усилия. В зимних условиях при экстремально низких температурах целесообразно осуществлять внедрение ковша в забой за счет усилия отрыва, начиная разработку с максимально возможной высоты внедрения в забой.

Анализ полученных зависимостей и фактические значения усилий копания современных экскаваторов показывают, что гидравлические экскаваторы имеют значения фактических усилий в 2—2,5 раза больше по сравнению с механическими лопатами.

Исследование взаимосвязи технических параметров гидравлических экскаваторов с параметрами забоя выявило следующие обстоятельства.

Гидравлические экскаваторы имеют меньшую рабочую массу по сравнению с механическими лопатами, что определяет более низкие значения удельных давлений на грунт. В то же время несущая способность грунтов определяет в зависимости от их свойств устойчивость экскаватора при работе в забое.

Следует отметить, что условия экскавации в забоях с кимберлитовыми породами (в АК "АЛРОСА") существенно отличаются от вскрышных забоев на угольном разрезе "Нерюнгринский". На основе 10-летней эксплуатации гидравлического экскаватора Н-285S в АК "АЛРОСА" были апробированы значения параметров и определены возможности мощных гидравлических экскаваторов с ковшом вместимостью 19 м³. Экспериментально установлено, что при послойной выемке сверху вниз можно производить отработку забоев высотой до

25 м при эффективной паспортной высоте копания машины 16 м. Определен средний размер куска горной массы для ковша вместимостью 19 м³, который не должен превышать 300 мм, но допускается в забое негабарит до 2500 мм.

Исследования уровня вязкости рабочей жидкости (РЖ) проводились с участием д-ра техн. наук Г. С. Бродского и канд. техн. наук Х. Р. Кельша при соответствующих сезонным значениям температуры окружающей среды. При значениях летних температур до +45 °С температура в гидравлической системе не превышала 100 °С при вязкости РЖ 7...7,5 сСт; а зимних (–50 °С) — не превышала 40 °С при вязкости РЖ 25...26 сСт. Система охлаждения при перепадах внешней температуры сохраняет нагрев РЖ в системе 100 и 40 °С, как предельно допустимые. Поддержание заданных оптимальных температур в допустимых пределах является фактором, определяющим также и ресурс гидропривода.

В результате выполненных исследований интегрирован опыт применения карьерных гидравлических экскаваторов с технологическими режимами эксплуатации в сложных горно-технических условиях горных предприятий Крайнего Севера. Так, при использовании разработанных рекомендаций обеспечено значительное повышение коэффициента готовности гидропривода до значений 0,95...0,98, в том числе за счет увеличения ресурса гидравлических машин и компонентов на 25...85 % (рис. 6 см. 2-ю стр. обложки).

Результаты эксплуатации и исследования карьерных гидравлических экскаваторов за длительный период в условиях Крайнего Севера позволили установить не только показатели надежности, но и экономические показатели их эксплуатации. Приведенные показатели относятся к классу машин с ковшами вместимостью от 15 до 40 м³. Достоверность выводов достаточно высокая (0,98), так как выборка объектов статистического анализа включает более 50 экскаваторов в натурных условиях.

Анализ результатов показывает, что экскаваторы с электрическим приводом главных гидравлических насосов имеют затраты примерно на 10 % ниже по сравнению с экскаваторами, имеющими дизельный привод. Увеличение рабочей массы и мощности гидравлических приводов, вместимости ковшей экскаваторов в 1,5—1,8 раза приводит к увеличению удельных затрат в 1,4—1,5 раз за период в 10 лет. Абсолютные затраты на 1 ч эксплуатации для машин с ковшом вместимостью 15 м³ находятся на уровне ниже 100 Евро/ч при экстремальных значениях на 3, 6 и 8 годах эксплуатации от 100 до 180 Евро/ч. Для экскаваторов с ковшами

вместимостью до 28 м³ затраты находятся на уровне 150 Евро/ч при экстремальных значениях на 3, 6 и 8 годах эксплуатации от 150 до 250 Евро/ч.

Экскаваторы с ковшами вместимостью до 40 м³ имеют средние затраты, за тот же сравниваемый период в 10 лет (до 270 Евро/ч). Экстремальные значения составляют на 3, 6 и 8-й год эксплуатации от 270 до 400 Евро/ч и приходится на период средних ремонтов, которые сопровождаются заменой гидравлических насосов, моторов, цилиндров и других дорогостоящих компонентов экскаваторов.

Следует отметить, возвращаясь к сравнению гидравлических экскаваторов с карьерными канатными машинами, что удельные затраты на 1 ч выполненной работы при базисе 10 лет (наиболее доверительном интервале для наблюдений), несмотря на срок, достигнутый при эксплуатации гидравлических экскаваторов в 100 000 ч (т. е. примерно 20 лет), получают ниже примерно на 15...20 %. Объяснить это можно тем, что фактический фонд рабочего времени за длительный период у гидравлических экскаваторов выше примерно на 10 % за счет уменьшения времени простоев при замене крупных компонентов, использовании модульного

ремонта и полном отсутствии капитальных ремонтов, которые кратны, как правило, для механических лопат 5—7 годам эксплуатации. Удельная производительность гидравлических экскаваторов априори выше на 10...14 % за счет повышенных усилий копания и гибких технологических схем применения.

Таким образом, результаты выполненных исследований на отечественных горных предприятиях с привлечением данных мирового рынка не только подтверждают, но и обеспечивают думающих предпринимателей, работающих в горном бизнесе, доказательной основой, а не рекламными заявлениями о возможности эффективного применения гидравлических экскаваторов на предприятиях России, в том числе в сложных горно-геологических и климатических условиях. Остается надеяться, что новое поколение ученых и специалистов при слабом потенциале отраслевой науки продолжит успешное внедрение мощных карьерных гидравлических экскаваторов в практику горного дела на открытых разработках твердых полезных ископаемых.

Уральское отделение РАН
Институт горного дела
Уральское отделение АГН
НП "Промышленная ассоциация Урала"
Компания "ЭкспоГрад"

Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием

ГЕОМЕХАНИКА В ГОРНОМ ДЕЛЕ

1–3 октября 2013 г.
г. Екатеринбург

Тематика конференции

1. Природа и закономерности формирования напряженно-деформированного состояния массива горных пород в естественных условиях.
2. Напряженно-деформированное состояние массива горных пород в областях влияния техногенной деятельности.
3. Природно-техногенные катастрофы в сфере недропользования.
4. Методы исследования геомеханических процессов.
5. Практика решения геомеханических задач в различных областях недропользования.

Все материалы по конференции можно найти на сайте ИГД УрО РАН
<http://igduran.ru/konf>.

Адрес Оргкомитета

Институт горного дела УрО РАН, 620219, г. Екатеринбург, ГСП-936, ул. Мамина-Сибиряка, 58.
Тел: (343) 350-21-86. Факс: (343) 350-21-11.
E-mail: direct@igduran.ru.

УДК 621.31

А. Я. Микитченко, д-р техн. наук, проф., директор по научной работе,
ОАО "Рудоавтоматика", г. Железногорск,
В. Г. Бессонов, ОГУ, преп., г. Оренбург

E-mail: post@mail.osu.ru

Исследование транзисторного непосредственного преобразователя частоты с релейно-токовым управлением

Статья посвящена экспериментальному исследованию свойств транзисторного непосредственного преобразователя частоты (НПЧ), выполненного из моноблоков, работающих в режиме источников с релейным формированием выходного тока. Данный принцип позволяет рассмотреть работу преобразователя с нагрузкой разной фазности.

Ключевые слова: транзисторный НПЧ, запас по напряжению, влияние преобразователя на сеть.

A. Ya. Mikitchenko, V. G. Bessonov

Investigation of the Transistor Cycloconverter with Current Control Relay

This article focuses on experimental investigation of the properties of the transistor cycloconverter, operating in source mode, performed by a monoblock principle. This principle allows us to consider the operation of the converter with a different phase load using relay units for the output current formation.

Keywords: transistor cycloconverter, supply voltage, converter's influence (impact) on network.

Транзисторные непосредственные преобразователи частоты имеют больше возможности для применения в системах управления горными машинами, в первую очередь экскаваторов и автосамосвалов.

Рассматриваемый НПЧ состоит из нескольких моноблоков, представляющих собой многофазно-однофазные преобразователи с общей системой управления. Каждый моноблок, работая на свою фазу нагрузки, охвачен обратной отрицательной связью по току, заведенной на вход релейного регулятора, и обеспечивает, таким образом, релейное формирование тока по соответствующему заданию. Все задания формируются упомянутой общей системой управления (задающим генератором). При таких условиях нагрузка обязательно должна содержать индуктивную составляющую (например, электродвигатель). Простой алгоритм релейного включения и отключения ключей моноблока позволяет формировать любые по форме (например, синусоидальные) токи в нагрузке с коэффициентом искажения не хуже 0,99. Потреб-

ляемые из сети токи всегда находятся в фазе с сетевыми напряжениями, т.е. $\cos\varphi = 1$.

В работе [1] впервые был сформулирован алгоритм управления ключами рассматриваемого преобразователя частоты и предложена простейшая структура релейно-токового управления, обеспечивающая ему свойства источника тока. Предложенный алгоритм коммутации ключей заведомо обеспечивает потребление токов из сети в фазе с соответствующими фазными напряжениями независимо от частоты модуляции и фазности нагрузки. Преобразователь частоты способен работать как в выпрямительном режиме, так и в инверторном. При работе моноблока на однофазную нагрузку с аналоговой системой управления был достигнут диапазон формирования частот 10 000:1 (от 0,01 до 100 Гц). Было предположено, что при использовании трехфазно-однофазного варианта на одном моноблоке, а также преобразователя на двух моноблоках с двухфазной и трехфазной нагрузкой по мере повышения задания на ток в нагрузке должны образовываться провалы в формируемом токе

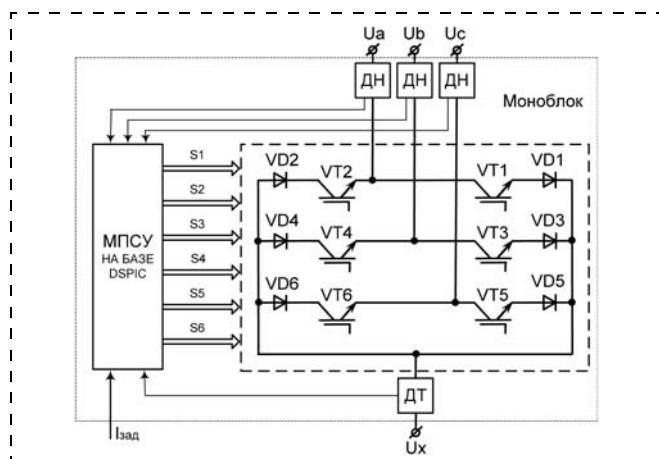


Рис. 1. Упрощенная структура моноблока транзисторного НПЧ

(и выбросы для инверторного режима), которые зависят от запаса напряжения по питанию. Потребляемые токи в этих вариантах обладают несимметрией. В трехфазно-трехфазном варианте нулевой провод не нужен, а для устранения избыточности управления один из регуляторов должен быть зависимым. Такое построение системы обеспечивает отсутствие провалов (выбросов) формируемых токов вплоть до достижения предельных значений напряжения в нагрузке, близких к питающим. Симметрия токов в сети и нагрузке сохраняется абсолютной, независимо от частоты формируемого тока. Формы потребляемых токов аналогичны токам неуправляемого выпрямителя, в то же время инверторный режим с изменением полярности в формируемых токах существует. Однако созданная система аналогового управления и отсутствие должной элементной базы у автора не позволили в то время реализовать необходимые экспериментальные исследования для подтверждения выше высказанных предположений. Поэтому мы возвращаемся к этому вопросу сейчас, с использованием новейшей элементной базы и разработанного программного обеспечения [2].

Следует отметить, что эксперименты проводятся на изготовленном макетном образце с использованием IGBT-транзисторов CM100DU-F24. Для организации микропроцессорной системы управления выбран микроконтроллер DSPIC30F3011-I/P, обладающий необходимым быстродействием и функциональностью. Экспериментальные данные сняты с помощью регистратора аналоговых сигналов при частоте дискретизации 25 кГц. В силовой части преобразователя (как по входной цепи, так и по выходной) фильтры не применяются. Для большей наглядности характера снятых кривых сигналы программно подфильтрованы по усредненному значению.

Рассматривая работу НПЧ, оценим насколько качественные токи можно получить в нагрузке при использовании микропроцессорной системы управления, какие требуются для формирования синусоидальных токов запасы по напряжению, какое влияние преобразователь оказывает на сеть.

Упрощенная структура моноблока транзисторного НПЧ представлена на рис. 1, где приняты следующие обозначения: ДН — датчик напряжения; ДТ — датчик тока; МПСУ — микропроцессорная система управления; S1—S6 — каналы управления силовыми транзисторами VT1—VT6; VD1—VD6 — быстродействующие диоды, защищающие транзисторы от обратных напряжений.

Исследование свойств транзисторного НПЧ проводилось при различном числе моноблоков (рис. 2).

Рассмотрим и проанализируем работу моноблока НПЧ при однофазной нагрузке (см. рис. 2, а).

В [1] представлены осциллограммы токов нагрузки однофазного транзисторного НПЧ ПТЭМ-2РИ при работе на активно-индуктивную нагрузку с аналоговой системой управления. Очевидным недостатком сформированных токов является "полочка" при переходе задания на ток

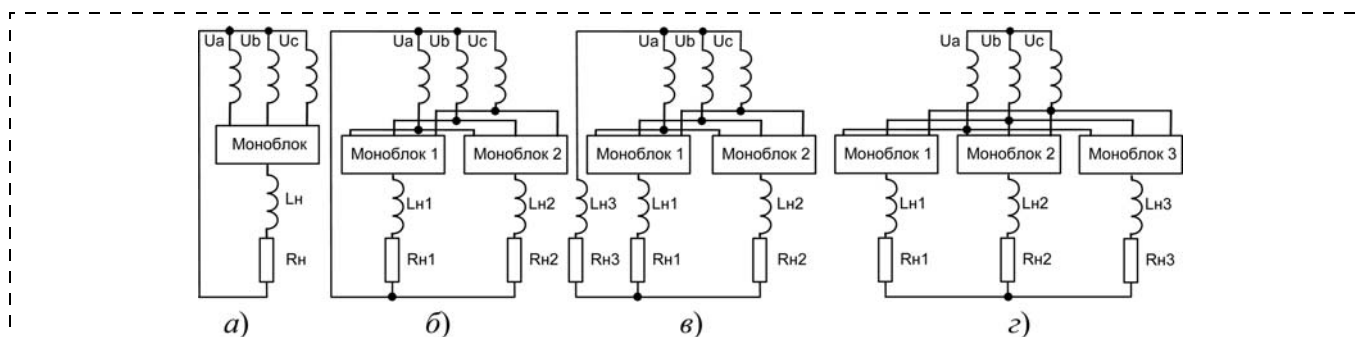


Рис. 2. Скелетные схемы транзисторного НПЧ:

а — трехфазно-однофазная схема; б — схема на двух моноблоках с двухфазной нагрузкой; в — трехфазно-трехфазная схема на двух моноблоках; г — трехфазно-трехфазная схема на трех моноблоках

через ноль, длительность которой составила примерно 500 мкс, что весьма заметно в выходном токе.

Повышение качества токов стало возможно при отказе от аналоговых принципов управления с переходом на микропроцессорное управление. Токовая пауза при этом составляет около 10 мкс, что обеспечивает ее неразличимость и безопасную работу преобразователя при переходе работы релейного регулятора с одной группы транзисторов (VT1, VT3 и VT5) на другую (VT2, VT4 и VT6) для формирования тока противоположной полярности. На рис. 3 представлены осциллограммы выходных фазных токов и напряжений при разном задании на частоту.

Явные провалы в токе свидетельствуют о нехватке сетевого напряжения для их формирования при переходе работы с одной фазы сети на другую. Они исключаются при повышении питающего напряжения преобразователя, т. е. когда обеспечивается необходимый запас по напряжению. Минимальное требуемое действующее напряжение питания преобразователя $U_{\phi 2}$, которое обеспечивает формирование синусоидального тока нагрузки I_H , можно определить согласно выражению [2]:

$$U_{\phi 2} \geq \sqrt{2} [(6f_m L_H + R_H) I_H + \Delta U], \quad (1)$$

где f_m — максимальная частота модуляции; L_H , R_H — активная и индуктивная составляющие нагрузки; ΔU — суммарное падение напряжения на диодах и транзисторах силовой части преобразователя.

Рассмотрим влияние трехфазно-однофазного НПЧ на сеть. Осциллограммы входных токов при разном задании на частоту представлены на рис. 4. На низких и высоких частотах (порядка 10 и 70 Гц) фазы сети загружены примерно равномерно, но формы токов по фазам неодинаковы (см. рис. 4, а, в).

С приближением задания к частоте 50 Гц ток в одной из фаз сети в течение какого-то времени может вообще отсутствовать, загруженными остаются две другие фазы одинаковыми токами. Причем это состояние по фазам чередуется. Чем ближе к 50 Гц, тем дольше эти периоды. Наконец, если синхронизировать работу моноблока на частоте 50 Гц, то ток из одной из фаз потребляться вообще не будет (см. рис. 4, б). Чтобы обеспечить равномерную загрузку силовых транзисторов, через определенный интервал времени можно смещать по фазе задание на ток, т. е. изменять синхронизацию задания тока относительно сетевых напряжений.

При работе преобразователя на базе двух трехфазно-однофазных моноблоков с двухфазной нагрузкой (см. рис. 2, б) необходимо наличие общего

нулевого провода, что позволяет обеспечить независимую работу релейных регуляторов, исключая их взаимное влияние друг на друга. Ток нулевого провода определяется соотношением:

$$I_0 + I_\alpha + I_\beta = 0, \quad (2)$$

где I_α и I_β — токи в двухфазной нагрузке.

При использовании в качестве нагрузки двухфазной машины для обеспечения в двигателе кругового поля токи I_α и I_β необходимо формировать со сдвигом 90° (рис. 5).

Как и в случае с однофазной нагрузкой при формировании токов на базе двух моноблоков также наблюдаются провалы в токе (рис. 6, а) по той же причине.

При работе двух моноблоков на трехфазную нагрузку (см. рис. 2, в) на выходе преобразователей необходимо формировать токи со сдвигом 120° , ток в нулевом проводе сформируется автоматически согласно (2). Осциллограммы входных и выходных переменных преобразователя представлены на рис. 7.

Теперь рассмотрим работу транзисторного НПЧ на базе трех моноблоков с трехфазной нагрузкой

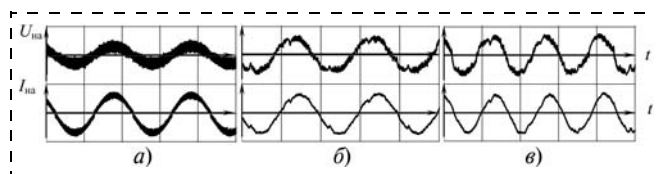


Рис. 3. Осциллограммы выходных фазных токов I_H и напряжений U_H трехфазно-однофазного НПЧ при задании на частоту: а — 0,5 Гц (U_H — 50 В/дел., I_H — 10 А/дел., t — 1 с/дел.); б — 50 Гц (U_H — 50 В/дел., I_H — 10 А/дел., t — 10 мс/дел.); в — 70 Гц (U_H — 50 В/дел., I_H — 10 А/дел., t — 10 мс/дел.)

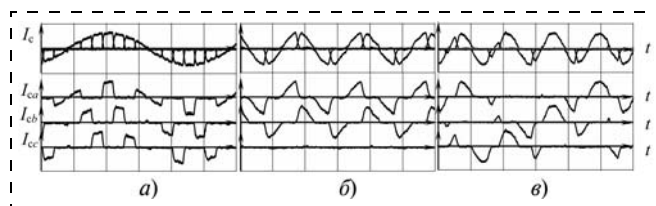


Рис. 4. Осциллограммы входных (сетевых) фазных токов I_C трехфазно-однофазного НПЧ при задании на частоту: а — 10 Гц (I_C — 10 А/дел., t — 20 мс/дел.); б — 50 Гц (I_C — 10 А/дел., t — 10 мс/дел.); в — 70 Гц (I_C — 10 А/дел., t — 10 мс/дел.)

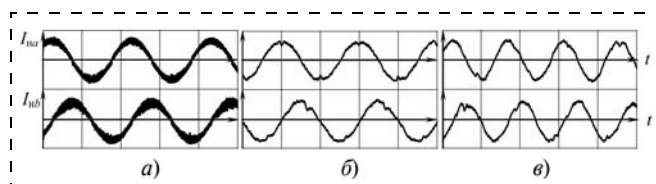


Рис. 5. Осциллограммы выходных фазных токов I_H трехфазно-двухфазного НПЧ на двух моноблоках при задании на частоту: а — 0,5 Гц (I_H — 10 А/дел., t — 1 с/дел.); б — 50 Гц (I_H — 10 А/дел., t — 10 мс/дел.); в — 70 Гц (I_H — 10 А/дел., t — 10 мс/дел.)

(см. рис. 2, з). Основное отличие в этой схеме от рассмотренных состоит в отсутствии нулевого провода, что вынуждает делать работу регуляторов тока зависимой. Как правило, два регулятора ведущие, а один ведомый. Это необходимо, чтобы обеспечить симметричную работу. В выходных токах преобразователя, снятых при тех же условиях, что и все предыдущие осциллограммы, явные провалы в токе отсутствуют, т. е. эффекта нехватки напряжения не наблюдается (рис. 8). Происходит это благодаря отсутствию нулевого провода. Если в одной

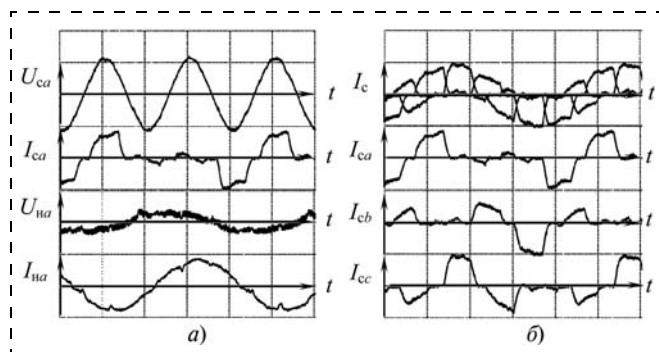


Рис. 6. Осциллограммы входных I_c , U_c и выходных I_n , U_n фазных токов и напряжений трехфазно-двухфазного НПЧ на двух моноблоках ($U = 50$ В/дел., $I = 10$ А/дел., $t = 10$ мс/дел.) при задании на частоту 25 Гц: а — фазное напряжение сети, потребляемый фазный ток, фазное напряжение и ток нагрузки; б — потребляемые токи из сети

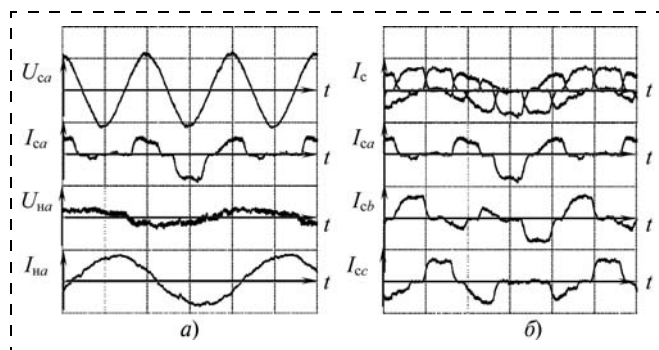


Рис. 7. Осциллограммы входных I_c , U_c и выходных I_n , U_n фазных токов и напряжений трехфазно-трехфазного НПЧ на двух моноблоках ($U = 50$ В/дел., $I = 10$ А/дел., $t = 10$ мс/дел.) при задании на частоту 25 Гц: а — фазное напряжение сети, потребляемый фазный ток, фазное напряжение и ток нагрузки; б — потребляемые токи из сети

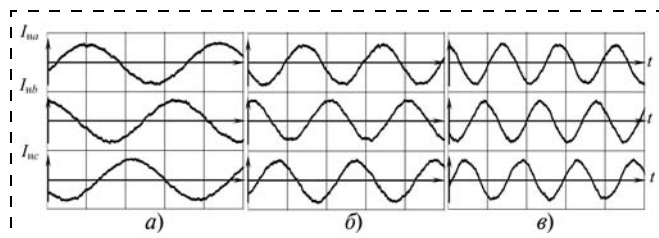


Рис. 8 Осциллограммы выходных фазных токов (I_n) трехфазно-трехфазного НПЧ на трех моноблоках ($I_n = 10$ А/дел., $t = 10$ мс/дел.) при задании на частоту: а — 30 Гц; б — 50 Гц; в — 70 Гц

из фаз возникает недостаток ЭДС для поддержания собственного тока, то в двух других параллельных фазах преобразователя покрывают собственные противоЭДС нагрузки и создают между нулевыми точками трансформатора и двигателя как раз такой запас напряжения, который компенсирует разницу между ЭДС в нагрузке первой фазы и ЭДС ее преобразователя. Поэтому провалы тока в такой схеме не возникают.

На всем рассматриваемом диапазоне частот (0,5...70 Гц) фазы сети загружены равномерно. Токи сети симметричны относительно нуля (рис. 9). Причем согласно заложенному релейному алгоритму коэффициент мощности равен 1.

Все представленные выше осциллограммы сняты на активно-индуктивную нагрузку. Для рассмотрения сетевых токов и напряжений в инверторном режиме необходимо в качестве нагрузки ис-

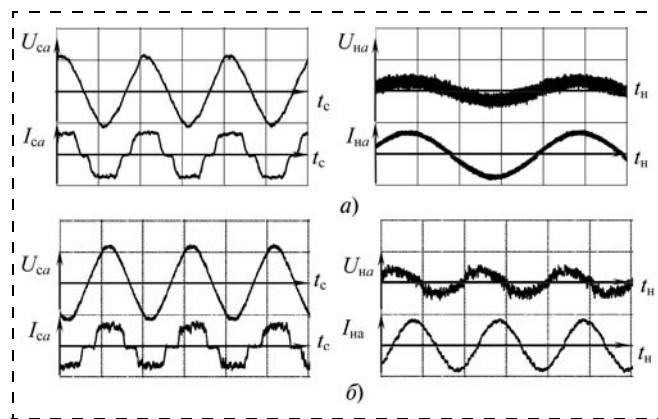


Рис. 9. Осциллограммы входных и выходных фазных напряжений U_c , U_n и токов I_c , I_n трехфазно-трехфазного НПЧ на трех моноблоках при задании на частоту: а — 0,5 Гц ($U = 50$ В/дел., $I = 10$ А/дел., $t_c = 10$ мс/дел., $t_n = 0,5$ мс/дел.); б — 49 Гц ($U = 50$ В/дел., $I = 10$ А/дел., $t_c = 10$ мс/дел., $t_n = 10$ мс/дел.)

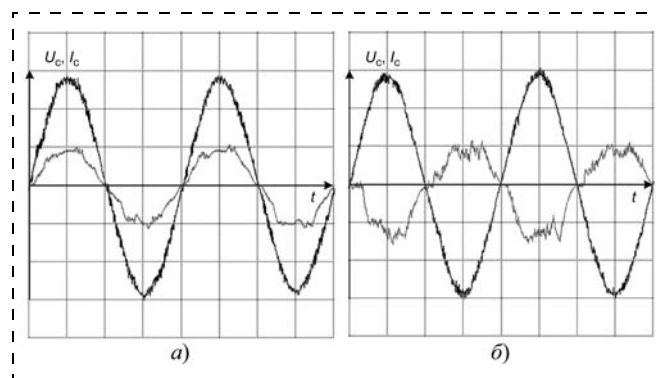


Рис. 10. Осциллограммы входных фазных напряжений U_c и токов I_c трехфазно-трехфазного НПЧ при работе с асинхронным двигателем ($U_c = 50$ В/дел., $I_c = 10$ А/дел.): а — выпрямительный режим; б — инверторный режим

пользовать источник активной мощности, например асинхронный двигатель. Характеристики входных (сетевых) фазных напряжений и токов трехфазно-трехфазного преобразователя в выпрямительном и инверторном режимах представлены на рис. 10.

Как видим, входные напряжение и ток в инверторном режиме находятся в противофазе. Преобразователь работает с таким же коэффициентом сдвига, как и в выпрямительном режиме, т. е. коэффициент мощности равен 1.

Выводы

1. Чтобы исключить провалы в выходном токе при использовании трехфазно-однофазного, трехфазно-двухфазного и трехфазно-трехфазного на двух моноблоках транзисторных НПЧ, необходимо обеспечить требуемый запас по напряжению питания.

2. При использовании трехфазно-трехфазной схемы включения преобразователя на трех моно-

блоках благодаря отсутствию нулевого провода провалы в формируемом токе компенсируются моноблоками соседних фаз нагрузки.

3. Предложенный принцип релейно-токового управления обеспечивает синусоидальные токи в нагрузке при потреблении токов из сети с $\cos\varphi = 1$.

4. Преобразователь способен работать как в выпрямительном, так и в инверторном режимах, в обоих случаях $\cos\varphi = 1$.

Список литературы

1. Микитченко А. Я. Разработка и исследование частотно-управляемого асинхронного электропривода по системе НПЧ—АД для машин предприятий горно-добывающей промышленности: Автореферат дис. ... д-ра техн. наук / МЭИ. М., 1999.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010610946. Программа управления транзисторным непосредственным преобразователем частоты для электроприводов машин горнодобывающей промышленности / Бессонов В. Г., Греков Э. Л.; заявка № 2009616866 от 03.12.2009, зарег. 29.01.2010.

УДК 622.245

А. Е. Козярук, д-р техн. наук, проф., Э. А. Загивный, д-р техн. наук, проф.,
В. И. Маларев, канд. техн. наук, доц., В. О. Зырин, асп.,
НМСУ "Горный", г. Санкт-Петербург

E-mail: kozjaruk@mail.ru

Электротермический комплекс с забойными тепловыми генераторами для разработки газогидратных залежей

Рассмотрены структуры газогидратных залежей, методы их разработки. Представлена электротермическая технология добычи газовых гидратов.

Ключевые слова: газовые гидраты, забойный электропарогенератор, электротермический комплекс, тепловая обработка скважин.

A. E. Kozyaruk, E. A. Zagrivniy, V. I. Malarev, V. O. Zyrin

Electrothermal Complex with Downhole Heating Generators for Gas-Hydrate Field Extracting

This paper discuss gas-hydrate fields structure, ways for it extracting. The electrothermal technology for gas-hydrate field extracting is presented.

Keywords: gas-hydrate, downhole electrosteamgenerator, electrothermal complex, well heat treatment.

В настоящее время неуклонно снижаются запасы традиционных энергетических ресурсов, таких как традиционная нефть, газ. Поиск и разведка новых месторождений могут служить решением этой проблемы, но запасы полезных ископаемых распределены по земной поверхности неравномерно и многие страны лишены углеводородных полезных ископаемых. Поэтому огромное внимание уделяется поиску новых альтернативных источников энергии, невозобновляемых и возобновляемых, таких как энергия ветра и солнца. Важным альтернативным невозобновляемым энергоисточником являются газовые гидраты. По предварительным оценкам специалистов института "ВНИИГАЗ", в России ресурсы природного газа в газовых гидратах достигают 1400 трлн м³. Из 1 м³ газовых гидратов можно получить до 160 м³ природного газа [1].

Газогидратные залежи представляют собой кристаллические соединения, которые описываются формулой $M \cdot n \cdot H_2O$, где M — молекула газа-гидратообразователя, n — число молекул воды, приходящихся на одну включенную молекулу газа ($n = 6...17$). Кристаллическая решетка состоит из молекул воды, удерживаемых водородными связями, а молекулы газа размещены во внутренних полостях решетки. При образовании гидратов один объем воды связывает от 70 до 210 объемов газа [2].

Распространение газогидратных залежей необходимо оценивать исходя из условий их образования. Метан находится в твердой гидратной форме при низкой температуре и высоком давлении. Это условия, характерные для морских глубин и областей вечной мерзлоты. Верхняя граница распространения гидратов в акваториях находится у поверхности дна, независимо от состава газа, на суше же она определяется составом гидрата. Гидрат сероводорода может находиться при температуре 0 °С непосредственно у поверхности земли, в то время как для гидрата метана этот уровень располагается не ниже 260 м [3].

Газогидратные залежи найдены в северных районах Западной Сибири, на Дальнем Востоке и на шельфе, затем на Аляске и в Канаде, на о. Байкал на глубине 1433 м.

Для добычи газовых гидратов необходимо воздействовать на залежь таким образом, чтобы изменить равновесное состояние гидрата, т. е. изменить давление или температуру. Тогда кристаллическая решетка распадается на воду и газ, готовый для извлечения. В настоящее время нет принятой технологии для добычи газогидратных залежей, поэтому требуется создание новых технологий и

решений по их добыче. Основным ограничивающим фактором для добычи гидратов является дороговизна предлагаемых технологий.

Чтобы превратить газогидрат в газ, т. е. разрушить кристаллическую решетку и отобрать пузыри газа, существуют три основных метода: понижение давления ниже равновесного давления; нагрев гидратосодержащих пород выше равновесной температуры; комбинация этих методов.

Все эти методы основаны на применении диссоциации — процесса распада вещества на более простые составляющие. В случае с гидратами природного газа диссоциация проходит при увеличении температуры и снижении давления, когда кристаллы льда тают, высвобождая молекулы природного газа, заключенные внутри кристалла [3].

На кафедре "Электротехника, электроэнергетика, электромеханика" Национального минерально-сырьевого университета "Горный" разработаны электротермические комплексы для тепловой обработки скважин [4, 5].

Конструкции электротермического комплекса предполагают установку наземного силового оборудования (питающего трансформатора, тиристорного регулятора напряжения), насоса, привода насоса, управляющего оборудования (контроллер) и установку теплового генератора непосредственно на забое пласта.

Схема электротермического комплекса представлена на рис. 1.

В случае разработки подводных залежей устройство включает в себя мобильную морскую платформу 19, на которой установлен генерирующий агрегат или трансформатор 26 для выработки электроэнергии. С поверхности на морское дно опускаются колонны насосно-компрессорных труб 6, тепловой генератор 29, который закреплен на конце колонны насосно-компрессорных труб 6 в нагнетательных скважинах 17. Питающий кабель 21 соединен с генерирующим устройством 26 через линию передачи 24. Микропроцессорное устройство 22 и тиристорный регулятор тока 20 образуют систему управления электротермическим комплексом.

Конструкция теплового генератора (поз. 1...16) для обработки газогидратных залежей должна быть пригодна для использования соленой морской воды в качестве нагреваемого теплового агента либо другой агрессивной среды. Поэтому должен быть исключен контакт теплового агента с электродами. Для большей наглядности конструкция нагревателя-рекуператора представлена на рис. 2*.

*Поз. 1...16 на рис. 1 и 2 совпадают, поз. 17...31 — только на рис. 1.

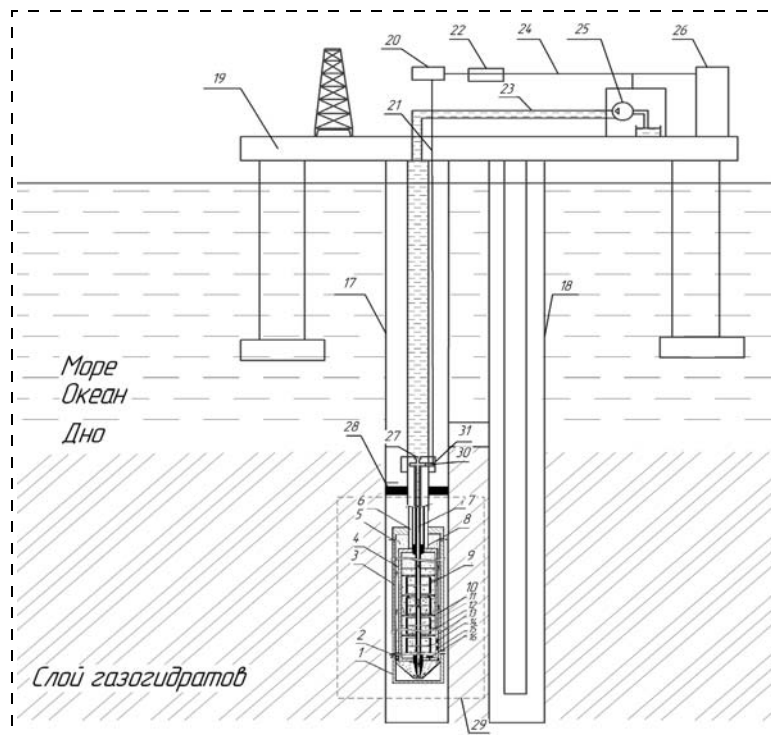


Рис. 1. Схема установки устройства тепловой обработки для морских залежей

Нагреватель-рекуператор состоит из наружного корпуса 3 и герметичного внутреннего корпуса 4. Наружный (второй) корпус выполнен с выпускными клапанами 5 в его верхней части, заполнен рабочей жидкостью 13 и установлен снаружи внутреннего (первого) корпуса 4, выполненного герметичным и заполненного токопроводящей жидкостью 12. Во внутреннем корпусе установлены центральный трубчатый токовод 7, соединенный с силовым кабелем питания 21, и фазные диски-электроды 11 с перфорацией, жестко связанные с центральным тоководом и изолированные термостойкими изоляторами 9 от внутреннего корпуса нагревателя, заполненного токопроводящей жидкостью 12. Изоляторы 9 также закреплены на центральном токовом и установлены в пространстве вокруг каждого электрода с зазором со стенкой внутреннего корпуса. На центральном токовом между фазными электродами 11, окруженными изоляторами 9, в межэлектродных интервалах за пределами термостойких изоляторов 9 установлены нулевые электроды 10, соединенные с внутренним корпусом. Внутренний корпус снабжен дополнительно верхним 8 и нижним 2 проходными изоляторами, установленными возле центрального токовода 7. Токовод 7 снизу выведен из внутреннего корпуса 4 в выходной изолятор 1 наружного корпуса 3 через нижний проходной изолятор 2. Во внутреннем корпусе устанавливаются

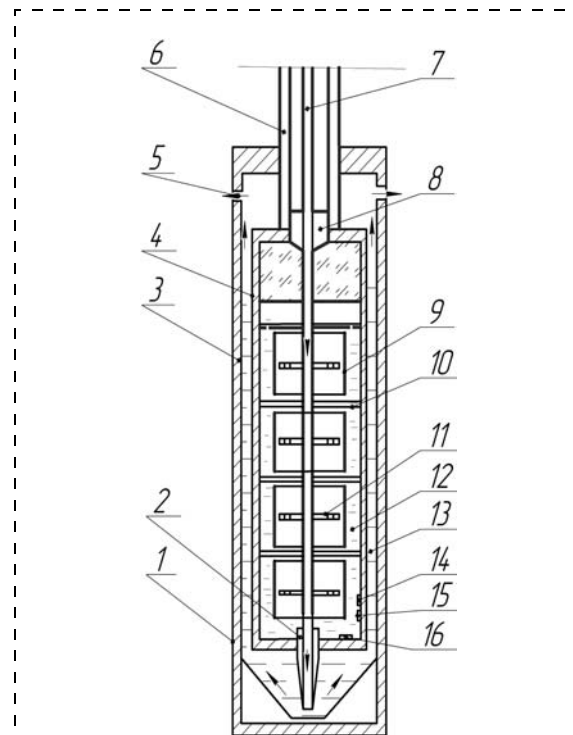


Рис. 2. Генератор для тепловой обработки газогидратных залежей

датчики давления 14 и уровня 15 для управления работой электропарогенератора-рекуператора. Для предотвращения разрыва внутреннего корпуса 4 также устанавливается аварийный клапан давления 16.

Насосно-компрессорные трубы 6 соединены с внутренним корпусом 4 через наружный корпус 3. Полый трубчатый токовод 7 соединен с насосно-компрессорной трубой 6 через узел сопряжения с диэлектрической вставкой 27. Питающий кабель 21 соединен с тоководом 7 через переходник 30. Узел сопряжения с диэлектрической вставкой 27 и переходник 14 устанавливаются в корпусе распределителя 31. Устройство оборудовано насосом 25, водоподводящей трубой 23. Термостойкий пакер 28 установлен между распределителем 31 и наружным корпусом 3.

Устройство работает следующим образом. После опускания нагревателя-рекуператора в колонну насосно-компрессорных труб 6 прогреваемая зона изолируется термостойким пакером 28.

Перед опусканием нагревателя-рекуператора в скважину подготовленную токопроводящую жидкость 12 заливают во внутренний корпус, оставляя пространство для пара, который затем герметизируют. Заполнение внутреннего корпуса осуществляется с учетом пространства для образования паровой фазы. В процессе работы ее состав и количество не изменяется. Рабочую жидкость 13

подают с поверхности платформы 19 насосом 25 из емкости по водоподающей трубе 23 к насосно-компрессорной трубе 6. Заполнение наружного корпуса 3 рабочей жидкостью происходит по центральному тоководу 7, который изолирован верхним 8 и нижним 2 проходными изоляторами и выведен в выходной изолятор 1, установленный в нижней части наружного корпуса 3. В качестве рабочей жидкости используют пресную воду, морскую воду, солевые растворы.

Напряжение от генерирующего устройства 26, через линию передачи 24, тиристорный регулятор напряжения 20 по силовому кабелю через переходник 30 подается по центральному тоководу на фазные электроды. От фазных электродов к нулевым электродам потечет ток, вызывая тем самым нагрев токопроводящей жидкости, испарение и конденсацию пара на стенках, что приводит в теплообмену между стенкой внутреннего корпуса 4 и рабочей жидкостью в наружном корпусе 3. Когда большая часть токопроводящей жидкости будет переведена в пар, о чем сигнализирует датчик уровня 15, установленный на стенке внутреннего корпуса 4, токовод 7 отключают от тиристорного регулятора 20, происходит конденсация пара на стенках и восстановление уровня токопроводящей жидкости 12. Во внутреннем корпусе 4 также установлен датчик давления 14, по сигналу которого при превышении расчетного уровня давления устройство отключается от тиристорного регулятора напряжения 20, и срабатывает аварийный клапан давления 16 для предотвращения разрыва внутреннего корпуса 4.

В нагревателе-рекуператоре 29 происходит рекуперация тепловой энергии, т. е. передача ее путем теплообмена через стенки заполненного рабочей жидкостью 13 наружного корпуса 3. В процессе теплообмена от прогретого внутреннего корпуса 4 начнет нагреваться рабочая жидкость в корпусе 3, вызывая ее нагрев и кипение, если необходимо. При достижении определенной температуры и давления в наружном корпусе 3 срабатывают выпускные клапаны 5, и жидкость (пар) выходит из корпуса 3, выполнив тепловую обработку призабойной зоны.

Процесс нагревания на глубине достаточно сложен и требует непрерывного контроля за рабочими параметрами: температурой воды в герметичном корпусе на интервале нагревания до температуры кипения, парообразования, температурой пара или горячей воды на выходе из устройства, давления во внутреннем корпусе, давления пара (горячей воды) на выходе, током тиристорного регулятора

напряжения, уровнем раздела фаз "вода—пар", расходом питающей воды.

Для целенаправленного воздействия на значения указанных величин устройство снабжается следующими управляющими и регулирующими органами:

тиристорным регулятором напряжения для изменения величины тока, подводимого к силовому кабелю устройства тепловой обработки;

затвора на подающем трубопроводе для перекрытия при аварийных ситуациях;

аварийным клапаном давления во внутреннем корпусе;

выпускным клапаном давления, настроенным на расчетную величину давления выхода пара;

преобразователем частоты для управления работой электродвигателя насоса, регулирования подачи питающей воды.

Ранее было доказано, что технология добычи газогидратов с применением электротермического комплекса является достаточно экономичной. Самым дорогостоящим из всего оборудования является силовой трансформатор [6]. Электротермический комплекс применим ко всем месторождениям, расположенным на суше или под морским дном, способен нагревать любые теплоносители для дальнейшей тепловой обработки пласта.

Список литературы

1. <http://gazprom.ru/press/news/2003/april/article54324/>
2. Аренс В. Ж., Вертман А. А., Крейнин Е. Ф., Полуэктов П. П., Хчян Г. Х. О перспективных технологиях разработки газогидратных залежей // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2005. № 2. С. 246—248.
3. Макогон Ю. Ф. Природные газовые гидраты: распространение, модели образования, ресурсы // Российский химический журнал (журнал Российского химического общества им. Д. И. Менделеева). Т. XLVII. 2003. С. 70—79.
4. Пат. 2208145 РФ, МПК E21B43/25. Устройство для тепловой обработки призабойной зоны скважины / В. С. Литвиненко, Б. Б. Кудряшов, Г. Н. Соловьёв, Э. А. Загивный. № 2001129393/03; опубл. 10.07.03, приоритет 31.10.01.
5. Пат. № 2451158. Устройство тепловой обработки призабойной зоны скважины — электропарогенератор / Э. А. Загивный, О. Б. Лакота, В. И. Маларев, В. О. Зырин; от 22.11.2010.
6. Загивный Э. А. Перспективы использования забойных электротермических комплексов для повышения нефтеотдачи пластов с тяжелой высоковязкой нефтью / Э. А. Загивный, А. Е. Козярук, В. И. Маларев, Е. Е. Мельникова // Электротехника. 2010. № 1. С. 50—56.

УДК 621.797

А. И. Беляев, канд. техн. наук, доц.,
МГТУ им. Г. И. Носова, г. Магнитогорск

E-mail: aibelyaev@mail.ru

Применение наплавки при ремонте изношенных деталей горного оборудования

Приведена информация по применению наплавки для восстановления деталей горного оборудования. Обоснован выбор наплавочных материалов в зависимости от вида нагружения и вида износа деталей. Приведенная информация расширяет возможности применения наплавки для горного оборудования.

Ключевые слова: наплавка, реновация, горное оборудование, электродуговая наплавка, наплавочная проволока, порошковая наплавочная проволока, наплавочная лента.

A. I. Belyaev

Application of Welding for the Repair of Worn Parts of Mining Equipment

Provides information on the application of welding to repair parts of mining equipment. The choice of filler materials, depending on the type of load and the type of wear. The above information is surfacing extends the application for the mining equi.

Keywords: surfacing, renovation, mining equipment, electric arc surfacing, surfacing wire, cored wire surfacing, surfacing tape.

За годы экономической перестройки в России увеличился износ основных производственных фондов. Состояние основного и вспомогательного оборудования многих промышленных предприятий, введенных в эксплуатацию несколько десятилетий назад, таково, что в соответствии с существующими нормативами требуют замены многие дорогостоящие узлы и агрегаты. С учетом ограниченных возможностей предприятий и износа парка оборудования первоочередными становятся вопросы применения малозатратных ресурсосберегающих технологий восстановления и упрочнения методами сварки.

Проблема износа имеет следующие взаимосвязанные аспекты: экономический, социальный и экологический. Экономический аспект очевиден. Социальный аспект определяется тем, что изношенная техника приводит к увеличению числа аварий и снижению жизненного уровня за счет возрастания цены продукции, которая производится этой техникой.

Экологический аспект проблемы состоит в том, что для производства нового оборудования требу-

ется увеличение добычи полезных ископаемых, их переработки, выплавки стали и изготовления новых машин. Все эти процессы связаны с экологической опасностью.

При интенсивном износе техники (порядка 70...80 %) затраты на ее обновление становятся неподъемными для бюджетов всех уровней. Критическим считается износ порядка 30 %.

Оборудование при нефтегазодобыче подвергается сильнейшей коррозии из-за содержания в нефти, газе и попутном газе агрессивных сред (сероводород, серная кислота, двуоксид серы, сернистый газ) [1, С. 6—8]. Детали машин в горно-добывающей промышленности работают в условиях высшего абразивного износа. Поэтому они нуждаются в частом восстановлении и защите.

В развитых странах восстановлению изношенных деталей высокопроизводительных агрегатов и машин уделяется большое внимание. Ремонт и восстановление изношенных деталей применяют во многих отраслях производства и охватывают широкую номенклатуру оборудования.

В США, Канаде, странах Европы работают около 7 тыс. фирм, занимающихся ремонтом изношенных деталей. Так, известная в области ремонта деталей компания "Castolin + Utechtik" имеет 34 завода по восстановлению изношенных деталей и производству сварочно-наплавочных материалов и сварочного оборудования. Ее филиалы имеются во многих странах. Активно работает она и у нас в стране. В США и Европе создан ремонтный фонд и осуществляется поставка реставрированных деталей.

В связи с исчезновением у нас в стране в 1990-х гг. многих организаций, занимающихся восстановлением и упрочнением деталей, а также значительным ослаблением роли технологических подразделений предприятий стали возникать организации, осуществляющие такую специализированную, узкопрофильную деятельность. Поэтому организация вторичного рынка восстановленных деталей, машин и механизмов может быть решена и в России [2]. Для этого есть все необходимое: технологические процессы, оборудование и материалы.

Для успешного решения задач ремонта и восстановления деталей оборудования, подвергшихся износу, во многих случаях эффективным процессом являются наплавка и напыление. По номенклатуре наплавляемых деталей и по массе наплавленного металла доминирующее положение занимает дуговая наплавка плавящимся электродом. Треть всех наплавочных работ выполняется вручную покрытыми электродами. Порядка 40 % приходится на автоматическую наплавку под флюсом. Создание производства наплавочных порошков и порошковых проволок делает реальной перспективу развития газопорошковой и плазменной наплавки. Из недуговых способов наплавки следует обратить внимание на наплавку жидкими присадочными материалами.

Наряду с уже освоенными способами ремонта и восстановления деталей оборудования внимание специалистов привлекают новые процессы наплавки: электронно-лучевая, лазерная, вакуумно-дуговая и электроконтактная наварка проволокой.

Для широкого внедрения наплавки необходимо создание специализированных организаций, цехов и участков, на которых можно будет восстанавливать и упрочнять изношенные детали машин и механизмов. Это станет действенным средством экономии материальных и трудовых ресурсов, повышения надежности и долговечности деталей оборудования.

Электродуговая наплавка занимает прочные позиции в реновации деталей, машин и механизмов в горно-добывающей промышленности [3]. В результате наплавки и при изготовлении деталей можно получить рабочую поверхность, обладающую необходимым комплексом свойств: износостойкостью, термостойкостью, жаропрочностью, коррозионной стойкостью и т. п. При ремонте наплавка позволяет восстановить первоначальные размеры и эксплуатационные свойства деталей. Используя наплавку, можно уменьшить расход дорогостоящих цветных металлов и сплавов и высокоуглеродистых сталей. Кроме того, многократное восстановление изношенных деталей в значительной мере уменьшает расход металла на изготовление запасных частей оборудования. Увеличение срока службы деталей оборудования особенно важно, если от их надежности и долговечности зависит работа высокопроизводительного оборудования, а замена таких деталей связана с длительными простоями агрегатов. Этим обусловлена большая экономическая и техническая эффективность наплавки в горном машиностроении. Номенклатура наплавленных деталей исчисляется сотнями наименований. Вот некоторые из них: детали щековых, конусных, валковых, молотковых и роторных дробилок; плунжеры гидропрессов; крановые и железнодорожные колеса; тормозные шкивы; защитные брони; различные валы, оси и многое другое.

Эффективность реновации наплавкой определяется правильным выбором состава наплавленного металла исходя из условий работы детали и основного вида изнашивания.

В настоящее время разработано большое количество электродных материалов на основе железа для дуговой наплавки. Это в основном сплошные и порошковые проволоки и ленты. Их классифицируют по различным признакам: по химическому составу, назначению, структуре и др. Международным институтом сварки предложена наиболее удобная классификация по химическому составу, которая предусматривает 11 групп наплавочных материалов [4], представленных в табл. 1.

Первые две группы материалов применяют для восстановления валов, осей, корпусных и других деталей из нелегированных или низколегированных сталей. Хромовольфрамовые, хромомолибденовые теплостойкие стали используются для наплавки прессового и штампового инструмента и других деталей, работающих в контакте с горячим металлом.

Классификация, химический состав и твердость наплавленного металла на основе железа

Тип наплавленного металла	Массовая доля элементов, %									Твердость HRC
	C	Mn	Si	Cr	Ni	W	V	Mo	Прочие	
Нелегированные и низколегированные стали, содержащие $\leq 0,4$ % C	$\leq 0,4$	0,5...3,0	$\leq 0,1$	$\leq 3,0$	$\leq 3,0$	—	—	$\leq 1,0$	—	20...45
Нелегированные и низколегированные стали, содержащие $\geq 0,4$ % C	$\geq 0,4$	0,5...3,0	$\leq 0,1$	$\leq 5,0$	$\leq 3,0$	—	—	$\leq 1,0$	—	52...60
Хромовольфрамовые, хромомолибденовые теплостойкие стали	0,2...0,5	$\leq 2,0$	$\leq 1,0$	1,0...5,0	$\leq 5,0$	1,0...10,0	0,2...1,5	$\leq 4,0$	—	52...60
Вольфрамовые, вольфрамомолибденовые быстрорежущие стали	0,6...1,5	$\leq 0,5$	$\leq 0,4$	4,0...6,0	—	1,5...18,0	$\leq 3,0$	≤ 10	Co ≤ 15	52...60
Низкоуглеродистые хромистые стали	$\leq 0,2$	$\leq 0,8$	$\leq 2,0$	12...30	$\leq 5,0$	—	—	$\leq 2,0$	—	35...50
Хромистые стали с повышенным содержанием C	0,2...2,0	0,3...0,5	$\leq 3,0$	5,0...18,0	$\leq 5,0$	$\leq 1,5$	—	$\leq 2,0$	—	50...60
Высокомарганцевые аустенитные стали	0,5...1,2	11...18	$\leq 4,0$	$\leq 5,0$	$\leq 4,0$	—	—	$\leq 1,0$	—	25...35
Хромоникелевые, хромоникельмарганцевые аустенитные стали	$\leq 0,3$	1,0...8,0	$\leq 5,0$	12...20	8,0...25,0	—	—	$\leq 5,0$	Nb $\leq 1,5$ Ti $\leq 1,0$	18...25
Высокохромистые специальные чугуны	2,0...5,0	0,5...8,0	$\leq 5,0$	18...35	$\leq 4,0$	$\leq 5,0$	≤ 10	$\leq 8,0$	Nb $\leq 1,5$, Ti $\leq 1,0$, B $\leq 3,0$, Co $\leq 5,0$	55...65
Кобальтовые сплавы с хромом и вольфрамом	0,7...0,3	—	$\leq 0,4$	25...33	0...3,0	3...25	—	30...70	Fe $\leq 6,0$	42...45
Никелевые сплавы с хромом и бором	$\leq 0,1$	—	2...5	8...18	65...85	—	—	—	Co 1...1,5, B 1...5	54...56

Вольфрамовые, вольфрамомолибденовые быстрорежущие стали предназначены для наплавки металлорежущего инструмента. Низкоуглеродистые хромистые коррозионно-стойкие стали рекомендуются для плунжеров гидропрессов и других деталей, работающих при трении металла по металлу. Хромистые стали с повышенным содержанием углерода, легированные вольфрамом, ванадием, молибденом и другими элементами, имеют высокую стойкость против абразивного изнашивания. Высокомарганцевые аустенитные стали рекомендуются для наплавки деталей, подвергающихся абразивному изнашиванию в сочетании с сильными ударами. Эти стали применяются для восстановления крестовин стрелочных переводов, деталей дробильно-размольного оборудования, а также для исправления дефектов литья из стали Г13Л.

Хромоникелевые и хромоникельмарганцевые коррозионно-стойкие аустенитные стали в зависимости от легирования обладают высокой стойкостью в различных коррозионных средах. Для наплавки деталей, работающих в условиях абразивного, гидро- и газоабразивного изнашивания с ударами различной интенсивности, рекомендуют материалы типа высокохромистых чугунов. Кобальтовые сплавы способны сохранять твердость при высоких температурах, стойки против коррозии и эрозии. Никелевые сплавы с хромом и бором обладают высокой жаропрочностью, кислотостойкостью и износостойкостью.

Каждому типу наплавленного материала может соответствовать несколько конкретных составов

наплавочных материалов в виде штучных электродов, проволок и лент. Для механизированной наплавки используют сплошные и порошковые проволоки и ленты, выпускаемые в соответствии ГОСТ 10051—75, ГОСТ 10543—82, ГОСТ 2246—70, ГОСТ 26101—84 и ГОСТ 22366—77.

В табл. 2 приведены марки, свойства наплавленного металла и назначение наплавочных порошковых проволок и лент, применяемых для восстановления и упрочнения деталей горного оборудования.

Химический состав, твердость наплавленного металла и назначение наиболее распространенных наплавочных и сварочных проволок приведены в табл. 3 и 4.

Выбор наплавочных материалов проводится с учетом условий эксплуатации восстанавливаемой детали, вида защиты, конструктивных особенностей детали и имеющегося оборудования.

К сожалению, производство стальных высоколегированных электродных проволок, так необходимых для износостойкой наплавки, является очень трудоемким и экономически невыгодным процессом. Сравнительно просто задача производства высоколегированных электродных материалов для механизированной наплавки решается с помощью порошковой проволоки. По сравнению с проволоками сплошного сечения порошковые проволоки обеспечивают более высокую производительность наплавки и большие возможности для легирования наплавленного металла. В промышленности применяются три типа порошко-

вых проволок: для наплавки под флюсом, в среде защитных газов и открытой дугой.

В табл. 5 приведены составы и назначение наиболее распространенных порошковых проволок, разработанных в Институте электросварки им. Е. О. Патона (Украина).

Кроме порошковых проволок широко применяются порошковые ленты. Наплавка электродной лентой по сравнению с наплавкой электродной проволокой имеет ряд преимуществ, основными из которых являются высокая производительность и малая глубина проплавления основного металла.

Таблица 2

Порошковые наплавочные проволоки и ленты для наплавки деталей горного оборудования

Марка проволоки	Массовая доля элементов в наплавленном металле, %						Твердость наплавки	Типичные объекты наплавки
	C	Mn	Si	Cr	Mo	Прочие		
ПП-Нп-200Х12М	1,9	0,3	0,3	12,0	0,55	—	40...46 HRC (60...62 HRC после ТО)	Керны клещевых кранов
ПП-Нп-200Х12ВФ	2,0	0,3	0,4	12,0	—	1,2 W	То же	То же
ПП-Нп-200Х15С1ГРТ	2,0	1,0	1,5	15,0	—	0,7 В 0,6 Ti	50...56 HRC	Молотки роторных и валки коксовых дробилок
ПП-Нп-250Х10В8С2Т	2,5	—	2,0	10,0	—	8,0 Nb 1,0 Ti	50...58 HRC	То же
ПП-Нп-300Х22МР2Т	3,0	1,0	1,0	22,0	0,8	1,8 В 0,6 Ti	56...63 HRC	То же
ПП-Нп-18Х1Г1М	0,18	1,4	0,8	1,4	0,4	—	320...380 HB	Крановые колеса, ролики рольгангов
ПП-Нп-12Х14Н3	0,12	0,6	0,8	14,0	—	0,3 Ni	42...48 HRC	Плунжеры гидропрессов
ПП-Нп-50Х6СГТР	0,5	0,5	1,2	8,0	—	0,7 В 0,2 Ti	57...63 HRC	Крановые колеса
ПП-Нп-80Х12К4Ф3В2М2НР	0,8	—	—	12,0	2,0	4,0 Co 2,0 W	57...60 HRC	Штампы
ПП-Нп-90Г13Н4	0,8	13,0	0,2	—	—	0,3 V 4,0 Ni	160...240 HB	Крестовины стрелочных переводов
ПП-Нп-14СТ	0,14	0,5	0,6	—	—	0,4 Ti	240...260 HB	Рабочие колеса кранов, оси, валы
ПП-Нп-19СТ	0,19	0,5	0,6	0,4	—	0,6 Ti	300...310 HB	То же
ПЛ-Нп-120Х22Р3Г2СРР	1,2	2,0	1,0	22,0	—	1,0 Ti 3,0 В	54...60 HRC	Молотки дробилок, конусы и чаши доменных печей (защитный пояс)
ПЛ-Нп-300Х25С3Г2Н2	3,0	2,0	3,0	25,0	—	2,0 Ni	50...54 HRC	То же
ПЛ-Нп-400Х25С3Г2МН	4,0	2,0	3,0	25,0	1,0	1,0 Ni	50...58 HRC	Молотки дробилок

Таблица 3

Проволока стальная наплавочная сплошного сечения

Марка проволоки	Массовая доля элементов, %						Твердость HB	Твердость HRC	Типичные объекты наплавки
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Прочие			
Нп-35	0,32...0,40	0,5...0,8	0,2...0,4	≤0,25	≤0,3	—	160...220	—	Оси, валы
Нп-45	0,42...0,50	0,5...0,8	0,2...0,4	≤0,25	≤0,3	—	160...220	—	Оси, валы
Нп-65Г	0,6...0,7	0,7...1,0	0,2...0,4	≤0,3	≤0,3	—	230...310	—	Крановые колеса
Нп-30ХГСА	0,27...0,35	0,8...1,1	0,9...1,2	0,8...1,1	≤0,4	—	220...300	—	Крановые колеса
Нп-40Х2Г2М	0,35...0,45	1,8...2,3	0,4...0,7	1,8...2,3	≤0,4	0,8...1,2 Mo	—	54...56	Коленвалы
Нп-30Х13	0,25...0,35	≤0,8	≤0,8	12,0...14,0	≤0,6	—	—	32...38	Плунжеры гидропрессов
Нп-40Х13	0,35...0,45	≤0,8	≤0,8	12,0...14,0	≤0,6	—	—	45...52	Различные ножи, штампы

Таблица 4

Проволока стальная сварочная сплошного сечения для наплавки

Марка проволоки	Массовая доля элементов, %					Твердость HB	Твердость HRC	Типичные объекты наплавки
	C	Mn	Si	Cr	Прочие			
Св-08	≤0,1	0,35...0,60	≤0,03	≤0,15	—	120...160	—	Оси, валы
Св-12ГС	≤0,14	0,8...1,1	0,60...0,90	≤0,2	—	190...220	—	Оси, валы
Св-08Г2С	0,05...0,11	1,8...2,1	0,70...0,95	≤0,2	—	180...210	—	Оси, валы
Св-18ХГС	0,15...0,22	0,8...1,1	0,90...1,20	0,8...1,1	—	240...300	—	Оси, валы
Св-20Х13	0,16...0,24	≤0,3	≤0,3	12,0...14,0	—	—	42...48	Плунжеры
Св-10Х17Т	≤0,12	≤0,8	≤0,7	16,0...18,0	0,2...0,5 Ti	—	30...38	Запорная арматура

Порошковая проволока для наплавки деталей горного оборудования

Марка проволоки	Массовая доля элементов, %						Твердость HB	Твердость HRC	Типичные объекты наплавки
	C	Mn	Si	Cr	Mo	Прочие			
ПП-Нп-14ГСТ	0,14	0,5	0,6	—	—	0,4 Ti	240...260	—	Оси, валы Оси, валы, крановые колеса
ПП-АН198	0,15	0,5	0,5	0,4	—	0,3 Al 0,3 Ti	220...310	—	
ПП-Нп-18Х1Г1М	0,18	1,4	0,8	1,4	0,4	—	320...380	—	То же Оси, валы, коленвалы Оси, валы, коленвалы Ж/д крестовины, литье Г13Л Молотки роторных и коксовых дробилок
ПП-Нп-30Х2Н2Г	0,30	1,5	0,6	1,8	—	1,4 Ni	—	42...48	
ПП-Нп-15Х4ГСМФ	0,15	1,1	0,9	3,7	1,1	0,4 V	—	42...48	
ПП-АН105	0,8	13,0	0,4	—	—	3,0 Ni	160...240	—	
ПП-Нп-200Х12С1ГРТ	2,0	1,0	1,5	15,0	—	0,7 B 0,6 Ti	—	50...56	

Таблица 6

Порошковые ленты для наплавки

Марка ленты	Массовая доля элементов в наплавленном металле, %						Твердость HRC	Типичные объекты наплавки
	C	Mn	Si	Cr	Ti	Прочие		
ПЛ-Нп-10Г2СТ	0,1	2,0	1,0	—	0,2	—	20...26	Оси, валы Оси, валы, ролики Била, зубья ковшей экскаваторов То же То же
ПЛ-Нп-20Х2Г2СТ	0,2	2,0	1,0	2,0	0,7	0,4 Mo	38...45	
ПЛ-Нп-300Х2С3Н2Г2	3,0	2,0	3,0	25,0	—	2,0 Ni	50...56	
ПЛ-Нп-120Х22Р3Г2С	1,2	2,0	1,0	22,0	1,0	3,0 B	54...60	
ПЛ-Нп-450Х20Б7М6В2	4,5	—	2,0	20,0	—	2,0 W 7,0 Nb 6,0 Mo	55...62	
ПЛ-Нп-12Х16Н8М6С5Г4Б	0,12	4,0	5,0	16,0	—	8,0 Ni 6,0 Mo 1,0 Nb	38...50	Энергетическая, нефтехимиче- ская арматура
ПЛ-Нп-12Х18Н9С5Г2т	0,12	2,0	5,0	18,0	0,2	9,0 Ni	27...34	

Ввиду того, что холоднокатаные (сплошного сечения) ленты могут быть изготовлены только из пластичных деформируемых сплавов с небольшим содержанием углерода, то они не в полной мере удовлетворяют разнообразным требованиям, предъявляемым к наплавленному металлу. Этих недостатков лишены порошковые ленты, которые изготавливают на специальном оборудовании, снабженном дозирующими устройствами и роликами для формирования и завальцовки ленты-оболочки, а также уплотнения шихты порошковой ленты.

Характерной особенностью порошковых лент является их универсальность. Ленты позволяют вести наплавку под флюсом и открытой дугой. В табл. 6 приведены химические составы и назначение порошковых лент, которые рекомендуются для восстановления и упрочнения деталей металлургического оборудования.

Выводы

1. Для успешного решения задач ремонта и восстановления деталей оборудования, подвергшихся износу, во многих случаях эффективным процессом является наплавка.

2. Качественное и эффективное восстановление и улучшение свойств изношенных деталей горного оборудования требуют индивидуального подхода и определяют правильный выбор наплавочных материалов и технологий.

Список литературы

1. Михайлицын С. В., Беляев А. И. Проектирование электродов для ручной дуговой сварки с заданными свойствами, изготавливаемых опрессовкой под давлением. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2012. 143 с.
2. Кащенко Ф. Д., Беляев А. И., Рябцев И. А. Наплавка роликов МНЛЗ // Современные методы конструирования и технологии металлургического машиностроения: междунар. сб. науч. тр. / Магнитогорск: МГТУ, 2006. С. 13—18.
3. Кащенко Ф. Д., Беляев А. И. Реновация деталей металлургического оборудования наплавкой // Вестник МГТУ им. Г. И. Носова. 2006. № 1. С. 3—6.
4. Кащенко Ф. Д., Беляев А. И. Восстановление и упрочнение изношенных деталей металлургического оборудования // Сварка. Контроль. Реновация 2006. Сб. докл. 6-й науч.-техн. конф. Уфа: Гилем, 2007. С. 141—149.

УДК 622.273.622.742

А. В. Юдин, проф., д-р техн. наук, УГГУ,
В. С. Примак, инж., Т. С. Ворончихина, инж., ОАО "Уралгипроруда", г. Екатеринбург,
Е. Г. Щавлев, инж., ОАО "БСЗ", г. Березники, Пермский край
E-mail: gmf.gmk@ursmu.ru

Оборудование комплексов при сухой очистке карбонатного сырья от глины

Уральский государственный горный университет совместно с другими организациями проводит исследования по разработке новой технологии отработки закарстованных месторождений на основе сухого способа очистки сырья от глинистых включений. Предпосылками для разработки технологии послужило оборудование, разработанное в РФ и за рубежом. В статье приводится краткий анализ такого оборудования.

Ключевые слова: карьер, карстообразование, глина, технология, вибропроцесс, грохот, питатель, комплекс.

A. V. Yudin, V. S. Primack, T. S. Voronchikhina, E. G. Shchavlev

Hardware Systems for Dry Cleaning Carbonate Raw Materials from Clay

Ural State Mining University together with other organizations conducts research on the development of new technology reflected processing karst fields based on the dry cleaning method of raw materials from clay inclusions. Prerequisites for the development of technology-served equipment developed in Russia and abroad. In the article reads as a brief analysis of such equipment.

Keywords: careers, karst, clay, technology, vibration process, crashing, feeder complex.

Материалом для статьи послужили исследования и проектные разработки авторов в направлении повышения эффективности добычи сырья на Чаньвинском месторождении известняков — сырьевой базе ОАО "Березниковский содовый завод".

Реализация проектов горных предприятий всегда была сопряжена с риском, обусловленным тем, что фактические показатели работы предприятия оказываются, как правило, значительно хуже проектных.

Источниками кризисной ситуации на горных предприятиях могут быть следующие основные причины: дефицит на этапе проектирования информации о месторождении и о свойствах добываемых руд, нерациональные проектные решения; неэффективные способы технической реализации проектных решений и др.

С точки зрения остроты проблем, Чаньвинский карьер известняков является в определенном смысле "эталонным". Отрабатываемый Костанокский участок месторождения характеризуется

высокой закарстованностью полезного ископаемого. Разведанная толща известняков имеет широко распространенные зоны с густой сетью трещин открытых и заполненных глиной, что позволяет отдельные участки месторождения отнести к высшей степени дислоцированности. На месторождении развит процесс карстообразования. Карсты заполнены глыбами известняка и песчано-глинистыми породами. Следствием этого являются большие потери карбонатного сырья, сокращается срок службы месторождения.

Годы эксплуатации показали, что заложенный в проекте выход кондиционного известняка (0,7...0,79) на практике не подтвердился и снизился на 20...25 %, а фактический суммарный объем добычи известняка оказался на 40 % ниже предусмотренного проектом. В результате совокупности указанных факторов из отработанных объемов месторождения только 50...55 % плановых запасов удастся направить на дробильно-сортировочный комплекс (ДСК) в виде карбонатного сырья.

Изложенная выше ситуация поставила перед специалистами задачу качественного анализа проблемы в целях разработки технических решений и способов, обеспечивающих промышленное разделение взорванной горной массы (ГМ) в карьере с содержанием глинистых фракций и карста до 25 %. Проблему отработки Чаньвинского месторождения совместно решают организации: УГГУ, ОАО "БСЗ", ОАО Институт "Уралмеханобр", ОАО Институт "Уралгипроруда".

При отработанных технологиях основное разделение ГМ выполняется на ДСК. При этом применяются различные способы: ручная глиноотборка, механические способы (грохочение, разрушение и др.) и промывка. В карьерах наиболее распространенным способом разделения ГМ является селективная выемка разносортных пород. Способ позволяет снизить содержание вредных примесей в минеральном сырье и затраты на производство готовой продукции. Однако на месторождениях карбонатных пород этот процесс ведет в некоторых случаях к увеличению потерь полезного ископаемого и к неоправданному росту эксплуатационного парка.

Кратко приведем некоторые способы разделения ГМ.

Промывочный способ используется при достаточных водных ресурсах с соблюдением требований экологической безопасности процесса, промывка осуществляется в условиях ДСК, т. е. качественно-количественная схема переработки предусматривает эту операцию. Для промывки используются корытные мойки и промывочные машины в зависимости от степени трудности промывки. Для промывки легкопромывистых материалов (суглинки, песчаные глины) используются виброгрохоты с брызгальными устройствами. При промывке материала крупностью до 40 мм для удаления труднопромывистых глин используют, главным образом, корытные мойки. При промывке материала крупностью до 100 мм эффективными считаются вибрационные мойки, а крупного материала (0...250 мм) — барабанные мойки.

Сухой способ разделения ГМ заключается в предварительном грохочении. При этом должны учитываться: грансостав исходной ГМ, форма кусков, кусковатость глины, ее естественная влажность и другие факторы. Должны также учитываться сегрегационные характеристики оборудования, способ его загрузки, характер движения рабочих органов.

При предварительном грохочении используются барабанные устройства. В данном случае эф-

фективность отделения глины обуславливается различиями в упруго-пластичных свойствах, коэффициенте трения глины и карбонатных пород. Барабанные классификаторы позволяют снизить содержание комовой глины в готовом продукте, они эффективны для разделения ГМ при среднем размере кусков до 150 мм. Кроме того, требуют равномерного питания ГМ. В последние годы за рубежом разработаны и опробованы барабанные грохоты для крупнокусовой ГМ.

Неподвижные колосниковые грохоты применяются только при крупном грохочении, когда требуется отделить материал крупностью не менее 50 мм. При величине отверстий грохота менее 50 мм они забиваются, вследствие чего эффективность грохочения снижается. Наиболее рациональной конструкцией среди неприводных колосниковых грохотов являются консольные и подпружиненные. Конструкции неприводных грохотов требуют равномерной подачи исходной ГМ. В последние годы в условиях карьеров предпринимаются попытки применения неприводных грохотов при их загрузке из автосамосвалов. Промышленная эксплуатация новых конструкций грохотов на карьерах показала их высокую пропускную способность и достаточную эффективность работы. Установлено, что при порционной загрузке длина рабочего органа должна быть увеличена. В работе [1] приведены формулы для расчета параметров грохотов. Для определения параметров неподвижных грохотов предложена уточненная формула, учитывающая порционный характер загрузки:

$$Q_0 = q_0 F / k; q_0 = q_1 T,$$

где q_0 — объемная удельная производительность (определяется по Олевскому [2]); F — площадь просеивающей поверхности; k — коэффициент, характеризующий увеличение параметров грохота при его загрузке автосамосвалами, $k = 6...6,5$; T — расстояние между колосниками, мм.

Для разделения ГМ в условиях ДСК в основном применяют вибрационные грохоты различного типа. Вибрационные машины с колосниковой просеивающей поверхностью 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 грохоте с расстоянием между колосниками менее 50 мм может понизиться за счет налипания к плоскостям и забивания межколосникового пространства.

Анализ патентных материалов и обобщение опыта работы вибрационных грохотов, обрабатывающих влажные, липкие материалы, показали, что не существует универсальных решений для всех полезных ископаемых и технологических процессов. Конструкцию и режим работы вибрационных машин приходится, как правило, подбирать для каждого материала индивидуально. Повышение эффективности вибропроцессов при разделении заглиненной ГМ связано с развитием двух направлений: рекомендации, связанные с изменениями или стабилизацией физических свойств ГМ, засоренной продуктами карста и глиной; рекомендации по выбору рациональной конструкции рабочих виброповерхностей и режимов ВТМ. Очевидно, что обе группы рекомендаций связаны друг с другом. Основными методами стабилизации физических смесей являются отмывка и подсушивание полезных ископаемых, что практически неприемлемо для взорванной ГМ в условиях карьеров. Стабилизация физических свойств ГМ возможна за счет подсушивания внешней влаги, содержащейся в полезных ископаемых. Уменьшение влажности глинистых смесей уменьшает их адгезионную способность. Подсушивание на грохоте может быть осуществлено посредством нагревания колосников (пароподогрев, электроподогрев).

Отметим, что в грохотах, работающих с влажными липкими материалами, предусматривают механические средства очистки межколоснико-

вого пространства (очистители с пневматическим приводом, различные цепные устройства и др.).

Исследованиями установлено, что повышение эффективности разделения заглиненной ГМ на вибрационных машинах возможно с возрастанием интенсивности встряхивания материала или с организацией неоднородного по длине рабочего органа поля вибраций. Этим требованиям в наибольшей степени соответствуют вибромашины с самобалансным или с самосинхронизированным приводом (с направленными колебаниями).

Уменьшение забиваемости и способность к самоочистке грохота достигаются при использовании каскадно расположенных колосников с открытой расширяющейся щелью. Целесообразно также обеспечить возможность перемещения колосников друг относительно друга для облегчения самоочистки. Это достигается средствами: упругого крепления колосников; асимметричным расположением колосников в смежных каскадах; образования просеивающей поверхности из двух автономных рабочих органов, взаимно перемещающихся относительно друг друга в вертикальной плоскости; применением консольных резонирующих колосников, которые при рабочих частотах грохота, близких к частоте первой формы колебаний колосников, начинают колебаться с увеличенными амплитудами; путем установки на концах рабочего органа разных по возмущающему усилию дебалансных вибровозбудителей.

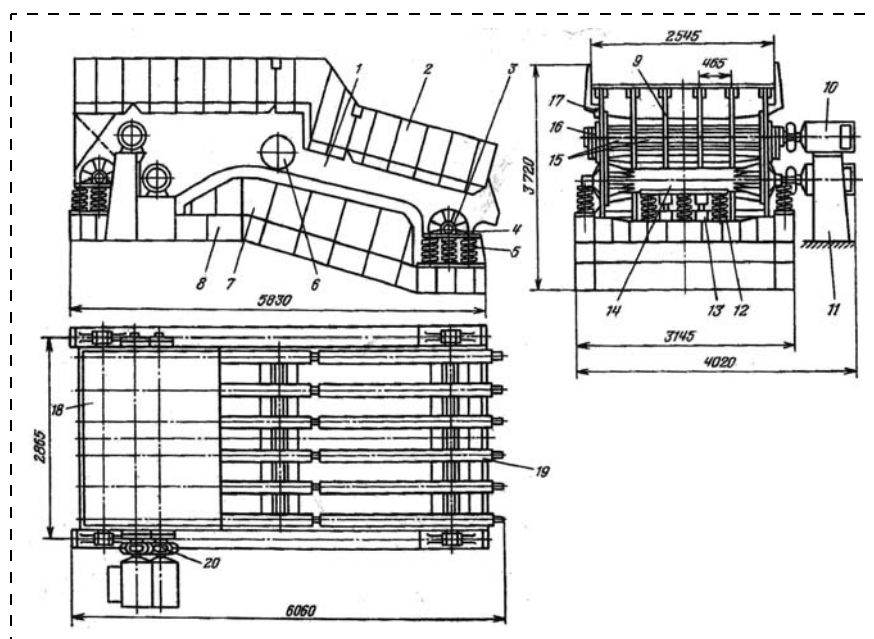


Рис. 1. Вибрационный питатель-грохот ГПТ (первое исполнение):

1 — рабочий орган; 2 — борта; 3, 4 — опоры; 5, 12, 13 — упругие системы; 6, 14, 15 — связь-балки; 7, 8 — рамы с бортами; 9, 19 — колосники со стойками; 10, 11, 16, 20 — приводы; 17 — система смазки; 18 — приемная плита

Учеными и специалистами УГГУ и Института "Гипромашобогашение" разработаны и испытаны новые типы ВТМ — сверхтяжелые, с совмещенными функциями, вибрационные питатели-грохоты (тип ГПТ). Машины принимают взорванную ГМ крупностью до 1,5 м непосредственно из кузова автосамосвала (грузоподъемностью 30...100 т) и заменяют собой две установки: пластинчатый питатель I типа и отдельный виброгрохот типа ГИТ. Рабочий орган включает приемную часть и грохотильную секцию из каскадных колосников с открытой щелью, с возможностью разделения ГМ по классам ± 400 , 300, 200 мм. Общий вид вибропитателя-грохота ГПТ первого образца показан на рис. 1. После испытаний машины на Качканарском ГОКе

в опытный образец были внесены изменения и разработан более совершенный вибропитатель-грохот ГПТ-А (рис. 2). Промышленная эксплуатация на Чаньвинском карьере показала, что при заданной границе разделения взорванной ГМ ± 300 мм грохотильная колосниковая секция не забивается глиной, эффективность разделения не менее 93 %.

Для разделения известняка, включающего до 30 % (массовая доля) заглиненных фракций и карста крупностью 0...150 мм, УГГУ совместно с ОАО "Березниковский содовый завод" модернизировал серийный вибрационный грохот ГИТ-51М с круговыми колебаниями рабочего органа. Его просеивающая поверхность выполнена в виде колосников с открытой расширяющейся щелью (рис. 3). Эксплуатация показала, что при заданной границе разделения ± 100 мм эффективность грохочения составила не менее 95 % и забивание глиной межколосникового пространства не происходит (характеристика приведена в табл. 1).

В последние годы зарубежные фирмы разработали установки для разделения заглиненной ГМ, рабочие органы которых сформированы различными телами вращения (валкового, барабанного типов).

Наиболее освоены конструкции валковых питателей с фасонными валками. В конце прошлого века фирма "Джар-Бар" (США) освоила выпуск питателей с эллиптическими валками. Принцип работы показан на рис. 4. Питатели предназначены для тяжелых условий работы и для восприятия ударных нагрузок. Краткая характеристика приведена в табл. 2. Валки питателя-грохота вращаются в одном направлении. Главные оси валков взаимно перпендикулярны. В машине для самых тяжелых условий работы главная ось эллипса $l_1 = 0,3$ м, малая ось $l_2 = 0,3l_1$. Общая длина просеивающей поверхности равна:

$$L = 0,7l_1n + T(n - 1),$$

где n — число рабочих витков; T — зазор между валками.

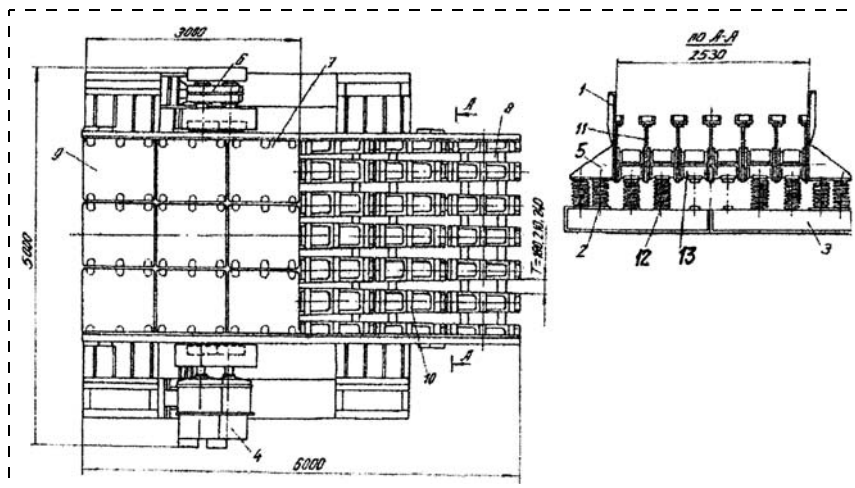


Рис. 2. Вибрационный питатель-грохот с совмещенными функциями ГПТ-А: 1 — рабочий орган с бортами; 2, 12 — упругие опоры; 3 — рама; 4 — вибропривод; 5 — кронштейны упругих опор; 6 — синхронизатор; 7 — плиты приемной секции; 8 — связь-балка; 9 — приемная секция; 10 — грохотильная секция; 11 — колосники; 13 — защита связь-балок

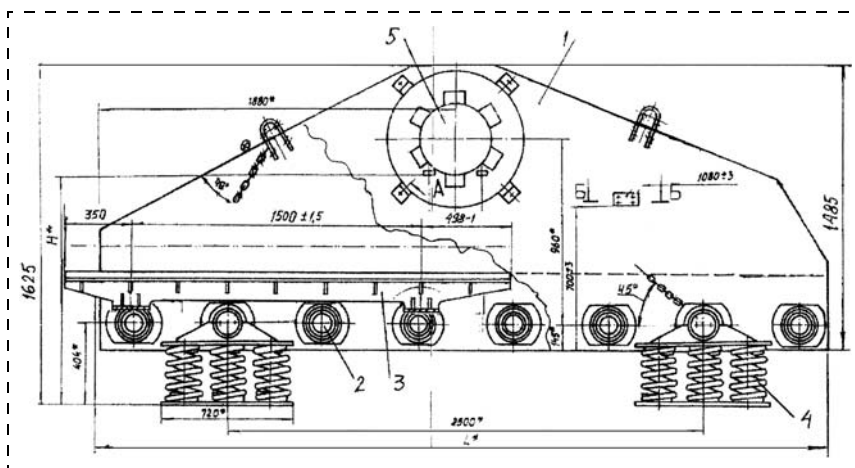


Рис. 3. Модернизированный грохот ГИТ-51М для разделения известняка и глинистых включений: 1 — рабочий орган, включающий связь-балки 2 и колосниковую просеивающую поверхность 3; 4 — упругие опоры; 5 — дебалансный привод

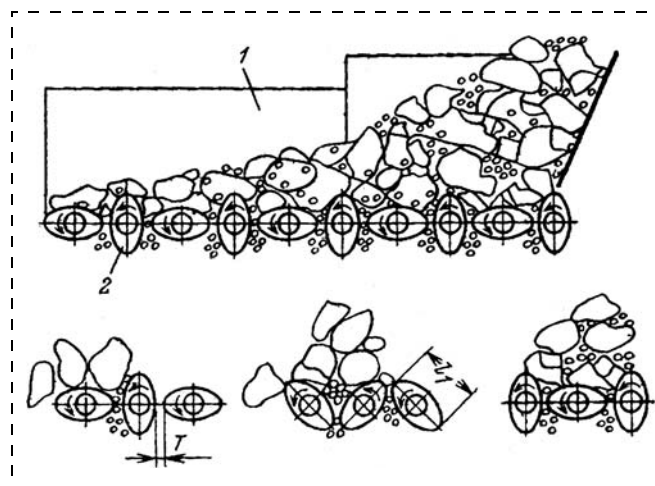


Рис. 4. Схема работы валкового питателя-грохота с эллиптическими валками: 1 — борт; 2 — валок; T — зазор между валками; l_1 — длина главной оси эллипса

Таблица 1

Характеристика вибропитателей-грохотов

Параметры	ГПТ-1	ГПТ-1А	ГИТ-51М
Производительность по питанию, т/ч	До 2000	До 2500	500
Насыпная плотность горной массы, т/м ³	До 2,7	До 2,7	2,0
Эффективность грохочения, %	90...95	90	90...95
Наибольший размер принимаемого куска, м	1,2	1,2	0,4
Расстояние между колосниками (на выходе), м	0,18; 0,26; 0,29	0,18; 0,21; 0,24	0,09
Угол установки просеивающей поверхности, °	0...10	5	15...30
Размер подколосниковых фракций, м	0,3; 0,4; 0,5	0,3; 0,4	0...100
Размеры, м:			
рабочего органа	2,5 × 6,0	2,5 × 6,0	1,75 × 4,0
грохотильной секции	2,5 × 3,6 (каскад)	2,5 × 3,0	
Тип вибратора	Самосинхр.	Комбинир.	Дебаланс
Число вибраторов, шт.	2	2	1
Амплитуда колебаний, мм	4...5	4...5	3...5
Частота колебаний, кол./мин	Регулируемая 20...30	Регулируемая 30	—
Угол вибрации, °	500...550	500...550	730, 970
Возмущающая сила, кН	16 × 2	32 × 2	18,5
Мощность двигателя, кВт	2	2	1
Число двигателей, шт.	23,6	30,6	4,0...5,3
Общая масса, т			
Габариты, м:			
длина	6,06	6,05	—
ширина без привода	3,14	5,0	—
высота	3,27	2,3	—
Разработчик	ИГД Чермета, ГМО	УГГУ, ГМО	УГГУ, ГМО

Принцип взаимодействия ГМ и валков показан на нижней части рис. 4. Приведены три положения валков при повороте каждого валка вначале на 45° и далее еще на 45°. Благодаря эллиптической конфигурации сечений валков зазоры T между валками остаются постоянными в продолжение всего оборота. В некоторых конструкциях расстояние между валками может регулироваться (в ограниченных пределах). В процессе поворота

валков большие оси эллипсов соседних валков взаимно перпендикулярны. Благодаря такому расположению валков движение ГМ на двух смежных валках происходит в противоположных направлениях. При этом равнодействующая этих двух противоположных движений создает вращение кусков, их интенсивное перемешивание и обеспечивает разделительный эффект. Вся ГМ на рабочем органе находится в состоянии непрерывного движения. При этом снижается опасность залипания и забивания рабочего органа.

Конструкция питателя с овальными валками разработана институтом "УкрНИИпроект" (см. табл. 2), предназначенного для оснащения перегрузочных пунктов конвейерного транспорта. Испытания питателей показали, что эффективность разделения низкая, расстояние между валками ограничено из-за застревания кусков между валками.

Известна конструкция питателей с просеивающей поверхностью, образованной рядом установленных параллельно друг другу валов-шнеков переменного сечения, с изменяющимся шагом винтовой линии (рис. 5). По мере движения ГМ часть мелких фракций проваливается в увеличивающиеся ромбовидные отверстия. Питатели разработаны институтом "УкрНИИпроект". Эффективность разделения таких поверхностей достаточно высокая (характеристика приведена в табл. 2).

В Германии выпускают валковые грохоты с фасонными валками для разделения заглиненной ГМ. Грохоты имеют различное назначение.

Например, фирма "Hazemag" (г. Дюльмен) и фирма "August Müller" (г. Ротвелл) выпускают валковые грохоты стационарного типа для очистки крупнокусовой ГМ от мелких фракций и глины (например, перед дробилками первичного дробления). В классическом исполнении грохоты имеют плоский рабочий орган (рис. 6, а) с закрепленными вращающимися валками. Число валков в зависимости от требуемой длины грохота (до 15 шт.).

Таблица 2

Параметры грохотов валкового и шнекового типов

Параметры	Питатели-грохоты типа "Джар-Бар"			Питатель "УкрНИИпроект"	Шнековый грохот "УкрНИИпроект"	
					ГПШ-500	ГШ-350
Производительность по питанию, т/ч	1200	1800	2600	1500	500	350
Эффективность разделения, %		70...80		—	90	95
Рабочая ширина грохота, м	1,2	1,5	1,8	1,05	1,56	1,65
Число валков, шт.	8...14	8...14	8...14	6	20	20
Тип валков	Эллиптический			Овальный	Шнековый, каскадный	
Зазор между валками, м	0,05	0,1	0,15	0,05	Переменный	
Мощность привода, кВт	15	18	20	30	26	30
Масса, т	15	22	27	5,5	4,5	4,5

На валках закреплены рабочие диски неправильной треугольной формы. Вершины дисков на валках смещены друг относительно друга и увязаны в смещении с дисками соседнего валка. Расстояние между валками и дисками образует размер отверстия для отсева мелких фракций. Число дисков зависит от требуемой ширины грохота. Поперечные балки внизу рабочего органа под каждым валком оснащены скребками для удаления налипшего материала. Привод валков выполняется по двум схемам: посредством цепных передач от центрального приводного модуля, расположенного с другой стороны рабочего органа; индивидуальный привод каждого валка от двигателя, сочлененного с редуктором. Для регулировки частоты вращения валков (производительности грохота) приводы могут быть оснащены частотными преобразователями. Контроль за частотой вращения валков выполняют датчики частоты.

Известны конструкции грохотов с каскадным (см. рис. 6, б) расположением валков с дисками (фирма "Hazemag"). Рабочая поверхность разбита на три части, высота каскада не менее 500 мм. Верхний каскад включает шесть валков, средний — пять, нижний — четыре. Каждый каскад имеет свой привод. Переходные плоскости между каскадами установлены под углом 60° и одновременно выполняют функции скребков сопрягаемых валков между каскадами. Фирма рекомендует применять каскадные грохоты как в стационарном, так и в мобильном исполнении.

Фирма "Hazemag" выпускает также валковый грохот с гидравлической регулировкой ширины щели между валками (VARIOwobbler). В этом случае грохот базовой версии разделен на две плоских секции: первая секция выполнена как обычно, имеет наименьшую заданную ширину щели между валками и дисками. На этом участке из исходной ГМ выделяются фракции размерами до 40 мм. Крупные фракции поступают на вторую секцию, на которой расстояние между валками может регулироваться посредством силовых гидроцилиндров (гидропривода). Движение валков плавное, гидросистема удерживает их в установленном положении. Управление процессом дистанционное.

Фирма "August Müller" рекомендует для разделения сильно заглиненной ГМ фракции 0...40 мм, поступившей после разделения на валковых грохотах первичных операций, применять валковые грохоты "пальчикового" типа. Диски валков изготовлены из специальной стали и имеют выступы в виде "согнутых пальчиков". Фирменное название

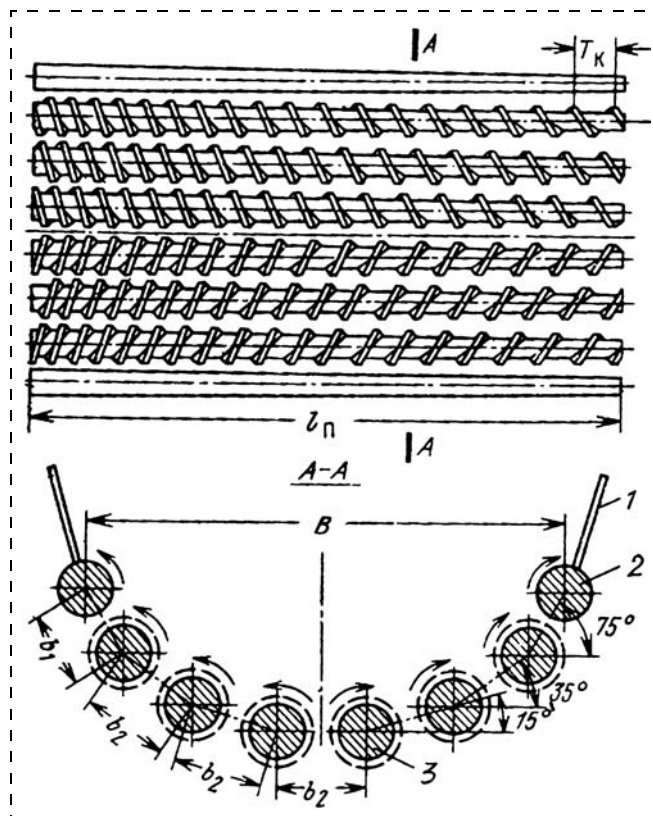


Рис. 5. Рабочий орган со шнековыми валками:

1 — борт; 2 — бортовой валок; 3 — рабочий валок (левого и правого исполнения); B — ширина рабочего органа; l_n — длина каскада; T_k — шаг наливки ребер (переменный); b_2 — расстояние между рабочими валками; b_1 — расстояние между рабочим и бортовым валками

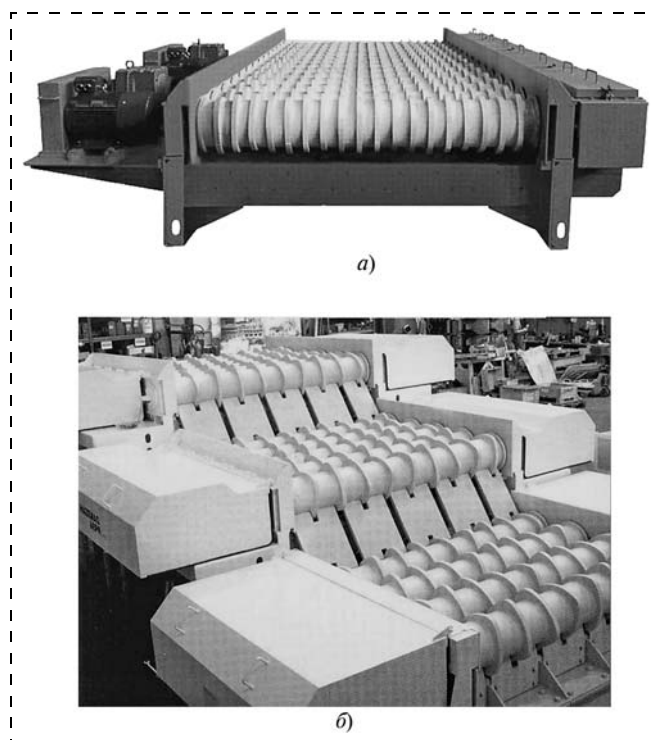


Рис. 6. Валковые грохоты фирмы "Hazemag":

а — с плоским рабочим органом; б — каскадный грохот

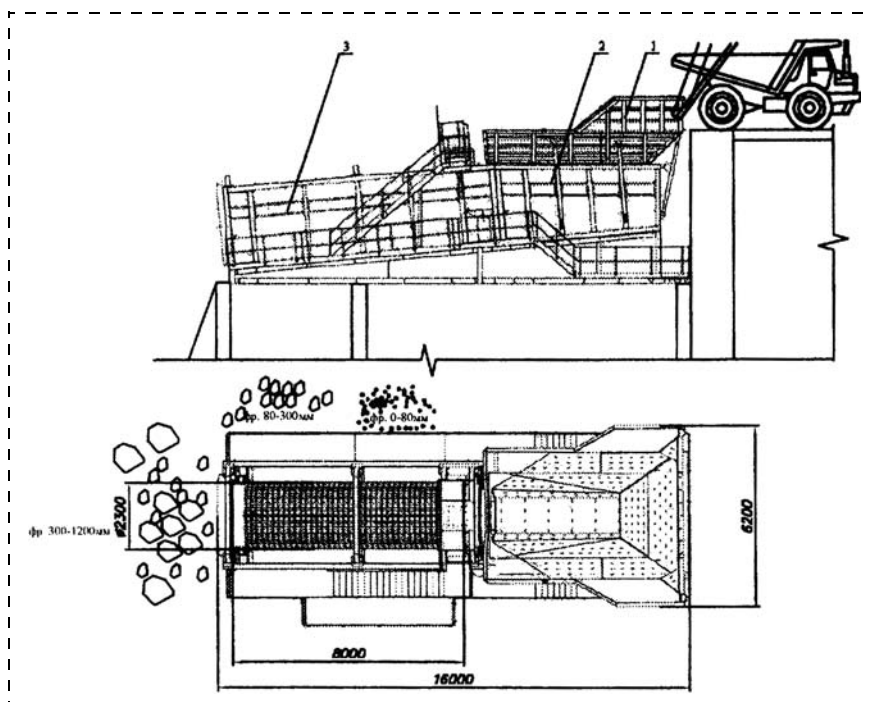


Рис. 7. Установка с барабанным грохотом:
1 — бункер; 2 — питатель; 3 — барабанный грохот

грохота "finger-type roller bar grizzly". Грохоты изготавливаются различной длины, ширины и размера проходного отверстия. Наиболее отработан грохот с 15-ю рабочими валками. Расположение валков, дисков с "пальчиками" позволяет равномерно распределять ГМ по ширине рабочего органа и обеспечивать ее движение вдоль грохота на подъем, и выполнять операцию очищения от глины. Эффективность разделения, по имеющимся данным, высокая. В грохоте использованы три приводных секции, одна на каждые пять валков. Для регулирования частоты вращения валков используют двигатели с частотным преобразователем мощностью 15 кВт, редуктор и эластичную муфту. Вращение валков осуществляется через цепную передачу. Валки установлены на роликовых подшипниках. Смазка подшипников и цепных передач централизованная. Все три привода расположены на одной стороне грохота на консольной раме.

Особенностью установки грохота является то, что угол наклона рабочего органа может изменяться. Для этой цели установка имеет два гидроцилиндра, установленных в головной части рамы.

Фирма "Trommel Nirox" выпускает барабанные грохоты. На рис. 7 приведена схема стационарной установки с барабанным грохотом диаметром

2300 мм и длиной 8000 мм. Грохот установлен с углом наклона 5...10°. Горная масса размером до 1,2 м загружается посредством пластинчатого питателя размерами 1820 × 4800 мм через приемный бункер вместимостью 50 т. Вращение барабана осуществляется гидроприводом с мощностью двигателя 90 кВт. Рабочая поверхность барабана образована решеткой с различными проходными отверстиями. На первой трети длины барабана выделяются фракции 0...80 мм, содержащие глину, на остальной длине — фракции 80...300 мм, с разгрузочного конца грохота фракции 300...1200 мм поступают в конусный штабель.

Накопленный на современном этапе отечественный и зарубежный опыт позволяет утверждать, что эффективность отработки закарстованных месторождений карбонатного сырья может быть повышена путем введения

в технологию способа сухой очистки сырья на специальных комплексах непосредственно в карьере. Структура таких комплексов формируется по схемам:

бункер, вибропитатель-грохот ГПТ (разделение по фракциям ± 300 мм, ± 250 мм), модернизированный инерционный грохот ГИТ-51М (разделение по фракциям ± 100 мм), вибрационный грохот (разделение по фракциям ± 40 мм с выделением глины). Пример технологии — Чаньвинский карьер, РФ;

бункер, питатель тяжелого типа, плоский (каскадный) валковый грохот (разделение по фракциям $\pm (40...50)$ мм), щековая дробилка, пальчиковый валковый грохот (разделение по фракциям ± 40 мм с выделением глины). Пример технологии — карьер Родзянка, Польша.

Список литературы

1. Юдин А. В., Мальцев В. А., Косолапов А. Н. Тяжелые вибрационные питатели и питатели-грохоты для горных перегрузочных систем. Екатеринбург, 2009. 402 с.
2. Справочник по обогащению руд. Подготовительные процессы. М.: Недра, 1981. 327 с.

УДК 622.684:629.622.271

И. В. Зырянов¹, д-р техн. наук, зам. директора по науке,
Л. И. Головизин², нач. транспортного отдела, **С. В. Решетников**¹, инж.,

¹ Институт "Якутнипроалмаз" АК "АЛРОСА", г. Мирный

² Нюрбинский ГОК АК "АЛРОСА", г. Мирный

E-mail: ZyryanovIV@alrosa.ru

Продление сроков службы карьерных автосамосвалов CAT-777 различных модификаций в условиях Нюрбинского ГОКа

Изложено обоснование продления срока службы карьерных автосамосвалов CAT-777D, CAT-777F и CAT-777G с 10 лет при нормативном пробеге до списания не менее 700 тыс. км до 13 лет при пробеге не менее 800 тыс. км. В качестве экономически целесообразного критерия срока полезного использования автосамосвала принят срок, при котором обеспечивается минимум удельных (на единицу транспортной работы) затрат на капитальные вложения, запасные части для проведения ТО и ремонта за весь срок службы самосвала. Учитывается также долговечность рамы.

Ключевые слова: карьерный самосвал, минимум удельных приведенных затрат, долговечность рамы, срок службы самосвала.

I. V. Zyryanov, L. I. Golovizin, S. V. Reshetnikov

Extension of Service Life of Various Modification Mine Dump Trucks CAT-777 in Conditions of Nyurbinsky GOK

The manuscript expounds substantiation of extending the service life of mine dump trucks CAT-777D, CAT-777F and CAT-777G from 10 years at standard run of not less than 700 000 km prior to retirement to 13 year period at the run not less than 800 000 km. Rational durability of mine dump trucks is determined by means of economic criteria with consideration of truck frame useful life. As the criterion of useful application time-limit, corresponding to economically sound operation life, minimum of cost per unit (per unit of transport work) on investments, spare parts for maintenance and repair has been accepted for the whole lifetime of a dump truck.

Keywords: mine dump truck, minimum of reduced cost per unit, chassis durability, service life of a truck.

Одним из основных требований, предъявляемых к карьерным самосвалам Федеральным горным и промышленным надзором России, является срок службы, установленный в нормативной, конструкторской и эксплуатационной документации. Также предъявляются требования к необходимости проведения экспертизы автомобилей при продлении срока их эксплуатации согласно Положению РД 03-484-02 "О порядке продления срока безопасной эксплуатации технических устройств..." по окончании срока их полезного использования.

Принятые в 1992 г. нормы амортизационных отчислений определяли сроки эксплуатации самосвалов через пробег. Действовавшие нормы амортизационных отчислений подразделяли машины

на группы по классу грузоподъемности, к норме применялись поправочные коэффициенты с учетом климатических и горно-технических условий эксплуатации.

Введенные в действие постановлением Правительства РФ с 01.01.2002 г. нормы амортизационных отчислений устанавливают нормативный срок службы автомобилей, в том числе и карьерных, в годах.

В АК "АЛРОСА" срок службы технологического транспорта определяется в годах и пробегом до списания.

Фирмы-изготовители карьерных самосвалов, кроме продукции завода "БелАЗ", не предоставляют на свою продукцию информацию о сроке службы, ссылаясь на различную специфику условий эксплуатации машин, которая учитывая широкую

географию их распространения, характеризуется значительным разбросом ряда показателей. При этом предполагается, что потребитель самостоятельно определяет целесообразный срок эксплуатации машин.

В АК "АЛРОСА" срок использования самосвалов производства фирм "Caterpillar", "Haul Pak" и "Terex Mining" устанавливается по результатам научно-исследовательских работ, выполняемых институтом "Якутнипроалмаз" путем обоснования рационального срока службы автомобилей, который определяется с учетом динамики затрат на техническое обслуживание и ремонт машин, накопленного опыта их эксплуатации (опыт ремонта и обслуживания) при постоянном мониторинге горно-технических условий. Согласно данной методике также уточняется срок полезного применения самосвалов производства "БелАЗ".

В 2000 г. Нюрбинским ГОКом (НГОК), являющимся одним из подразделений Компании, начата отработка месторождений Накынского рудного поля, в частности трубки "Нюрбинская". Для транспортировки горной массы было принято решение использовать самосвалы с гидромеханической

трансмиссией САТ-777 грузоподъемностью 91 т. На момент приобретения первой партии машин предприятие не обладало опытом их эксплуатации — автомобили представляли собой новый для АК "АЛРОСА" класс грузоподъемности. Структура парка автосамосвалов САТ-777 в Нюрбинском ГОКе на 01.01.13 представлена в табл. 1.

На начальном этапе применения САТ-777 в условиях Нюрбинского ГОКа была дана экспертная оценка о сроке их службы с последующей корректировкой с учетом опыта использования автомобилей САТ-785 в условиях Удачинского ГОКа АК "АЛРОСА" — 7 лет при пробеге не менее 500 тыс. км.

К 2006 г. опыт применения машин позволил выполнить исследования по определению рационального срока их службы — по их итогам он был установлен на уровне 10 лет при пробеге не менее 700 тыс. км.

В настоящее время в связи с изменением горно-технических условий работы, достижением в ближайшей перспективе первыми партиями нормативного пробега 700 тыс. км, а также планированием ввода в эксплуатацию новой модификации САТ-777G возникла необходимость пересмотра срока полезного использования автомобилей.

Определение срока службы технологического транспорта является одной из актуальных и важных задач для предприятия — она позволяет разработать график списания-поступления машин, спланировать затраты на транспортировку автомобилей, а также решить вопрос оценки эффективности той или иной модели самосвала.

Задача установления рационального срока службы карьерных автосамосвалов является в целом технико-экономической. С экономической точки зрения целесообразный срок применения соответствует минимуму затрат на единицу транспортной работы за весь период эксплуатации автомобиля. Однако не менее важна и техническая составляющая. В данном случае это долговечность рамы, которая лимитирует срок службы машины в целом. Блок-схема определения рационального срока службы самосвала представлена на рис. 1.

По мере увеличения срока службы самосвала расходы на выполнение транспортной работы возрастают в основном вследствие увеличения затрат по статьям ремонта. Учитывая, что кроме затрат на запасные части, остальные эксплуатационные расходы — на ГСМ и на автошины — не зависят или слабо зависят от возраста автомобиля, для

Таблица 1

Структура парка автосамосвалов САТ-777 в Нюрбинском ГОКе

Номер партии	Модификация самосвала	Год ввода в эксплуатацию	Число машин, ед.	Средний возраст, лет
1	САТ-777D	2000	5	11,3
2	САТ-777D	2001	5	
3	САТ-777D	2004	5	
4	САТ-777F	2007	5	3,3
5	САТ-777F	2009	4	
6	САТ-777F	2012	6	
Итого			30	7,3

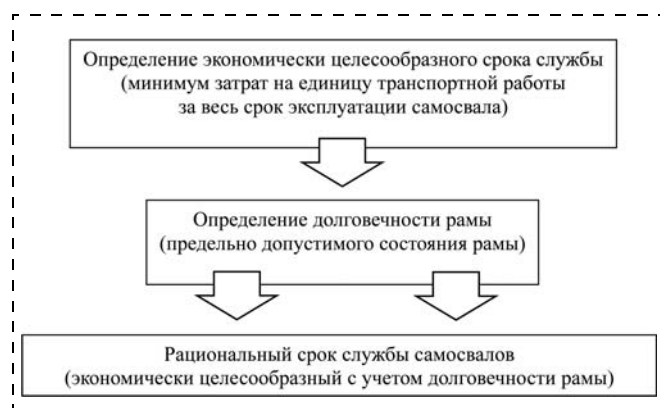


Рис. 1. Блок-схема определения рационального срока службы карьерных самосвалов

общей оценки срока полезного применения используется формула [1]:

$$ПЗ_{уд} = \frac{\sum_{i=1}^n 3_{(ТО,Р)i} + K}{\sum_{i=1}^n Q_i},$$

где $ПЗ_{уд}$ — удельные приведенные затраты, долл. США/ткм; $3_{ТО,Р}$ — затраты на запасные части для проведения ТО и ремонта, долл. США; K — капитальные затраты на приобретение автосамосвала, долл. США; n — срок службы автосамосвала, лет; Q_i — грузооборот на i -м году эксплуатации.

Для определения рационального срока службы автомобилей при сложившейся динамике производительности машин и расходов на ремонт за период эксплуатации необходимо найти зависимость между удельными затратами на запасные части и капитальные вложения на приобретение самосвалов и их возрастом с начала эксплуатации.

В общей постановке задача выбора рационального срока службы сводится к расчету минимальных удельных затрат на единицу транспортной работы за весь срок эксплуатации машины [1]:

$$ПЗ_{уд} \rightarrow \min.$$

Для решения данной задачи необходимо знать динамику производительности и затрат на запасные части в зависимости от возраста самосвала, а также долговечность основных узлов и агрегатов.

Исследования показали, что одним из основных факторов, влияющих на технико-эксплуатационные показатели работы, является возраст (пробег с начала эксплуатации). С увеличением возраста снижается уровень надежности машины (ходимость узлов до капитального ремонта, долговечность опорных металлоконструкций и т. д.), а следовательно, и все технико-эксплуатационные свойства автомобиля.

В результате исследований была определена динамика грузооборота и пробега самосвалов и установлена связь данных показателей от времени. На рис. 2 представлены графики зависимости показателей грузооборота и пробега одного среднесписочного самосвала САТ-777D и САТ-777F от возраста. Довольно низкие значения показателей с 1 по 5 год эксплуатации машин в Нюрбинском ГОКе объясняются начальной стадией становления предприятия, отсутствием налаженной организации производства и достаточного фронта работ. Данные по факту представлены у САТ-777D за

первые 12 лет эксплуатации (средний возраст от 1,0 до 10,3 лет), у САТ-777F (средний возраст от 1 до 4 лет) за первые 5 лет работы, далее в обоих случаях представлен прогноз.

Изменение уровня надежности в процессе эксплуатации машин влечет за собой необходимость увеличения затрат на поддержание их в исправном состоянии. Изучение закономерностей динамики изменения затрат на поддержание работоспособности самосвалов — решающий фактор в оценке эффективных сроков службы машин на карьерах Компании.

Для определения затрат на запасные части для ТО и ремонта автомобилей за срок их службы был проведен сбор данных о наработке до капитального ремонта (КР) основных узлов и агрегатов, стоимость которых составляет основную долю затрат на запасные части.

Анализ фактической наработки до капитального ремонта основных агрегатов позволил установить, что ходимость базовых узлов имеет тенденцию постепенного снижения относительно первого капитального ремонта (КР-1): на 10 % при КР-2 и на 18 % при КР-3. Максимальную наработку до КР-1 имеют основные агрегаты самосвалов третьей партии. Средняя фактическая наработка до КР-1 составила: ДВС — 21 тыс. мото-ч, гидротрансформатор (ГТ) — 20 тыс. мото-ч, коробка передач (КП) —

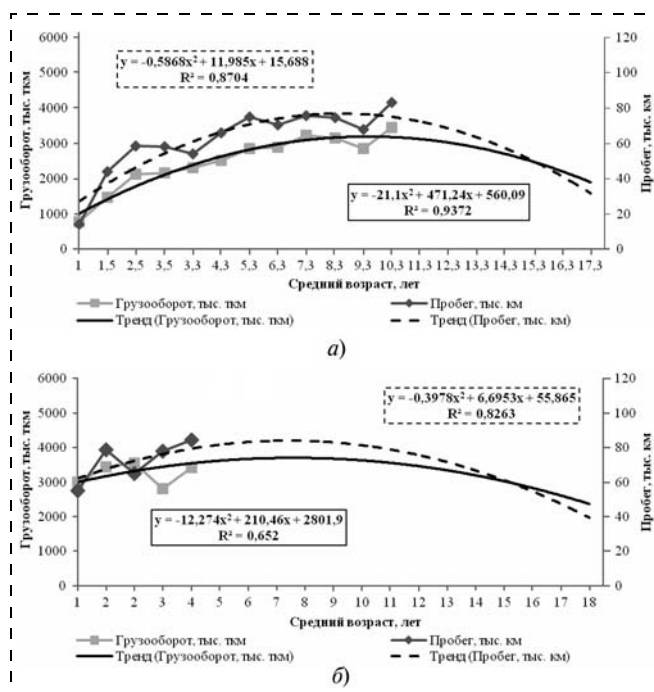


Рис. 2. Зависимость грузооборота и пробега от возраста одного среднесписочного самосвала:
а — САТ-777D; б — САТ-777F

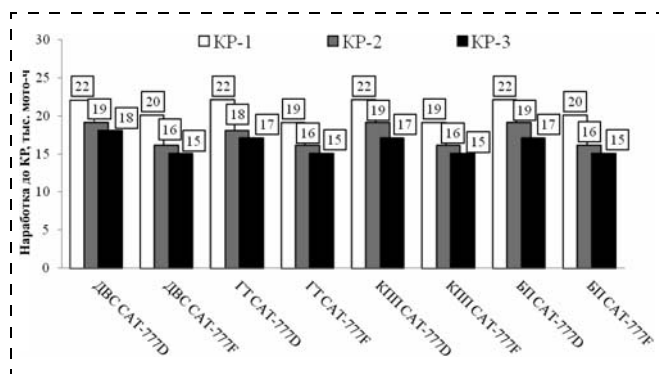


Рис. 3. Средняя наработка до капитального ремонта основных узлов одного среднесписочного самосвала САТ-777Д и САТ-777Ф

20,5 тыс. мото-ч, бортовые передачи (БП) — 21 тыс. мото-ч.

Исследования показали, что в целом надежность основных агрегатов САТ-777Д выше, чем у САТ-777Ф: наработка двигателя САТ-777Д до КР-1 на 8 % выше, чем у САТ-777Ф — 22 тыс. против 20 тыс. мото-ч, гидротрансформатора на 12 % — 22 тыс. против 19 тыс. мото-ч, трансмиссии на 17 % — 22 тыс. против 19 тыс. мото-ч и бортовой передачи на 6 % — 22 тыс. против 20 тыс. мото-ч. Средние показатели наработки основных узлов одного среднесписочного самосвала САТ-777Д и САТ-777Ф до капитальных ремонтов представлены на рис. 3.

Показатели наработки до капитального ремонта основных узлов САТ-777Д приняты по факту. Для САТ-777Ф по причине как недостаточного объема информации, так и ввиду небольшого срока эксплуатации пятой партии машин, показатели наработки до КР-2 и КР-3 приняты прогнозные, на основании опыта применения САТ-777Д в условиях Нюрбинского ГОКа.

В целях установления затрат на запасные части для проведения ТО и ремонта за срок эксплуатации автомобиля были выполнены сбор и обработка данных о фактическом расходе материально-технических ресурсов.

На основе имеющейся информации по долговечности основных агрегатов, стоимости новых базовых узлов и ремонтных комплектов для проведения восстановительных мероприятий составлены графики, отражающие периодичность проведения ремонтов, и определены расходы на запасные части за срок службы одного среднесписочного самосвала САТ-777Д и САТ-777Ф в % от стоимости машин (рис. 4).

Опыт технического обслуживания и ремонта самосвалов в условиях ремонтной площадки

Нюрбинского ГОКа показал, что проведение более двух ремонтных воздействий на одном блоке ДВС, ГТ, КП и БП автомобилей САТ-777 нецелесообразно, поэтому при наступлении третьего капитального ремонта следует замена старых узлов на новые агрегаты. Как видно на графиках, максимальные расходы за весь срок службы самосвалов приходится на приобретение новых узлов. В заключительный период эксплуатации, когда машина приближается к моменту списания, капитальные ремонты не планируются, агрегаты дорабатывают свой ресурс и запасные части планируются только на ТО и неплановый текущий ремонт, объемы которого постепенно возрастают.

Выполненные расчеты по определению удельных затрат на запасные части и приобретение самосвалов на единицу транспортной работы в зависимости от срока службы машины позволили установить экономически целесообразный срок службы, который составил:

для САТ-777Д — 15 лет при пробеге ~900 тыс. км или наработке 92 тыс. мото-ч;

для САТ-777Ф — 15 лет при пробеге ~920 тыс. км или наработке 94 тыс. мото-ч.

Определение минимума удельных затрат на единицу транспортной работы показано на рис. 5.

Как видно на рисунке, графики изменения расчетных затрат на инвестиции и запасные части

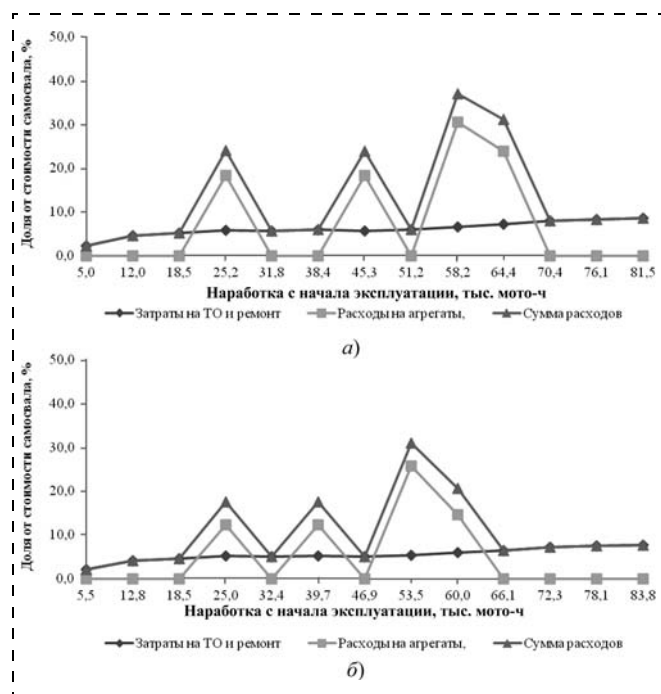


Рис. 4. Динамика расчетных затрат на проведение ТО и ремонта одного среднесписочного самосвала: а — САТ-777Д; б — САТ-777Ф

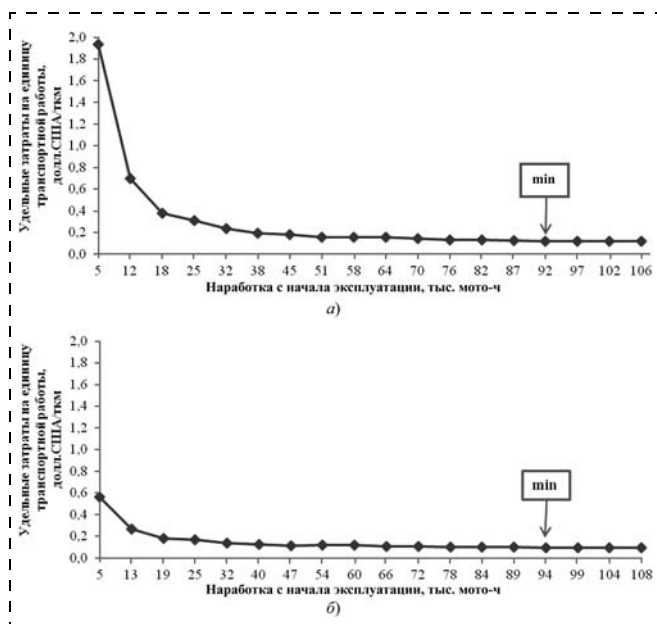


Рис. 5. Определение минимальных удельных приведенных затрат на единицу транспортной работы самосвала:
а — CAT-777D; б — CAT-777F

Таблица 2
Наработка и пробег самосвалов CAT-777, списанных по состоянию рамы

Гаражный номер автосамосвала	Наработка на момент поломки рамы, мото-ч	Пробег на момент поломки рамы, км
101	76 814	704 802
106	71 731	658 425
108	64 987	612 210

на единицу транспортной работы за весь срок службы самосвалов имеют неявно выраженный экстремум в диапазоне от 90 до 100 тыс. мото-ч. Данный диапазон является областью для принятия решения о дальнейшей эксплуатации транспорта.

Однако рациональный срок службы карьерных самосвалов в целом определяется работоспособностью рамы, наработкой ее до критического состояния и невозможностью восстановления в условиях Нюрбинского ГОКа.

Так как рама является цельной, негабаритной и дорогостоящей деталью, доставка которой сопряжена со значительными затратами, то ее замена экономически нецелесообразна. Поэтому в случае возникновения повреждения, которое невозможно

устранить без снижения безопасности эксплуатации, самосвал подлежит списанию.

В целях установления долговечности опорных металлоконструкций автомобилей был проведен анализ данных о сварочных работах по рамам самосвалов CAT-777 в условиях Нюрбинского ГОКа. В результате анализа зафиксировано три случая аварийного схода машин (все — CAT-777D) по причине критического состояния рамы в Нюрбинском ГОКе за период с 2000 по 2012 г., восстановление которых характеризовалось значительной трудоемкостью работ (табл. 2).

Опыт применения карьерных самосвалов CAT-777 в Нюрбинском ГОКе показал, что максимальный ресурс рамы, при условии неизменной политики проведения ремонтных мероприятий по ремонту опорных металлоконструкций, составляет в среднем 75...80 тыс. мото-ч или около 750...800 тыс. км пробега.

Таким образом, рациональный срок службы CAT-777D и CAT-777F с учетом долговечности рамы в условиях Нюрбинского ГОКа составил 13 лет при наработке 80 тыс. мото-ч и пробеге 800 тыс. км. Учитывая схожесть конструкции и отсутствие опыта применения вводимых в эксплуатацию CAT-777G, срок службы для них принят по аналогии с CAT-777D и CAT-777F.

В ближайшей перспективе в Нюрбинском ГОКе необходимо разработать программу дальнейшего развития ремонтной базы как основополагающего фактора эффективного функционирования технологического транспорта. При достижении самосвалами CAT-777F и CAT-777G нормативного пробега 800 тыс. км до списания с учетом пересмотренной политики проведения ремонтных мероприятий необходимо вернуться к вопросу о сроке их службы.

Список литературы

1. Мариев П. Л., Кулешов А. А., Егоров А. Н., Зырянов И. В. Карьерный автотранспорт. С.-Петербург: Наука, 2004. 429 с.
2. Положение о техническом обслуживании, диагностировании и ремонте карьерных самосвалов БелАЗ, Жодио, 2004. 45 с.

Повышение тягового усилия ленточных конвейеров с увеличенными длинами, углами наклона и производительностью

Описаны защищенные патентами на изобретения новая конструкция и принцип действия ленточного конвейера с взаимодействием опорных роликов нерабочей ветви ленты с центральными роликами желобчатых роlikоопор грузонесущей ветви ленты, позволяющая существенно увеличить сообщаемое конвейерной ленте тяговое усилие при уменьшенной нагрузке на грузонесущую ветвь ленты при увеличенных длине, углах наклона и производительности конвейера за счет возможности использования подвесных роlikоопор с увеличенной желобчатостью для грузонесущей ветви ленты. Предложена методика расчета и выбора параметров предлагаемой конструкции конвейера.

Ключевые слова: ленточный конвейер, грузонесущая ветвь, нерабочая ветвь, взаимодействие, тяговое усилие, длина, угол наклона, производительность, увеличенные параметры.

Yu. D. Tarasov

Improvement of Belt Conveyors Traction Effort with Increased Lengths, Slope Angles and Capacity

New construction protected by patents and operating principle of belt conveyor with interaction between return run idlers and central trough load-carrying idlers has been described. It allows significantly increase conveyor belt traction effort with reduced forces in load-carrying belt bench with increased length, slope angles and capacity by possibility of pendulent idlers application for load-carrying bench. The design procedure and the choice of parameters of the proposed conveyor construction have been offered.

Keywords: belt conveyor, load-carrying bench, return run, interaction, traction effort, length, slope angle, capacity parameters.

Предлагаемое техническое решение, разработанное на кафедре горных транспортных машин Национального минерально-сырьевого университета "Горный", позволяет существенно увеличить реализуемое тяговое усилие и может быть использовано при проектировании подъемных, уклонных и горизонтальных конвейеров увеличенной длины, в том числе магистральных, включая ленточные конвейеры с увеличенной желобчатостью грузонесущей ветви, обеспечивающие повышенную производительность конвейера, а также конвейеры с обычными стандартными желобчатыми и прямыми роlikоопорами.

Ленточный конвейер с подвесными роlikоопорами на грузонесущей ветви ленты [1, 2] состоит (рис. 1 и 2) из бесконечно-замкнутой в вертикальной плоскости на головном 1 и концевом 2 барабанах ленты с опиранием ее грузонесущей ветви 3 и нерабочей 4 ветвей на закрепленные на стойках 5 рамы 6 роlikоопоры 7 и 8. На грузонесущей ветви 3 установлены подвесные роlikоопо-

ры 7, выполненные из шарнирно 9 соединенных между собой цилиндрических горизонтально размещенного среднего 10 и наклонно размещенных боковых 11 роlikов. При этом роlikоопоры 8 нерабочей ветви 4 ленты смещены относительно роlikоопор 7 грузонесущей ветви 3 вдоль конвейера и установлены с возможностью взаимодействия нерабочей ветви 4 ленты с роliками роlikоопор 7 грузонесущей ветви 3. Концевой барабан 2 выполнен приводным с синхронизацией его окружной скорости с окружной скоростью головного барабана 1, являясь одновременно натяжным для лен-

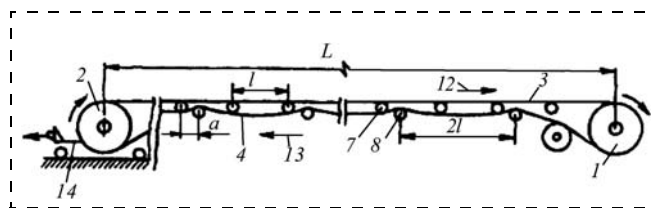


Рис. 1. Ленточный конвейер с увеличенным тяговым усилием (продольный разрез)

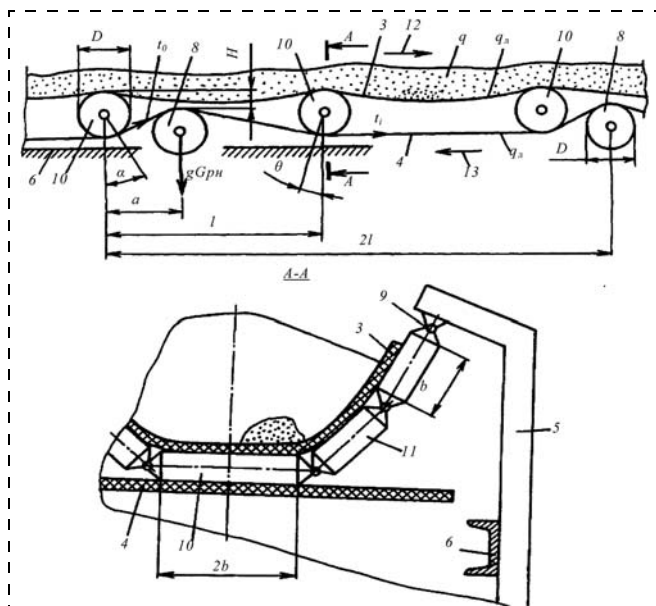


Рис. 2. Схема совместного размещения роlikоопор грузонесущей и нерабочей ветвей ленты конвейера с увеличенным тяговым усилием (см. рис. 1)

точного контура 3, 4. При выполнении конвейера с вертикальным натяжным устройством концевой барабан 2 со своим приводом установлен неподвижно. Ролики роlikоопор 8 нерабочей ветви 4 конвейерной ленты смещены в вертикальной плоскости относительно средних роликков 10 подвесных роlikоопор 7 грузонесущей ветви 3 с возможностью обеспечения максимального угла обхвата снизу нерабочей ветвью 4 ленты средних роликков 10 грузонесущей ветви 3. Это обеспечивается за счет минимизации зазора H между грузонесущей 3 и нерабочей 4 ветвями ленты в зоне размещения роlikоопор 8 нижней ветви 4. Роlikоопоры 8 нерабочей ветви 4 ленты размещены со стороны ее набегающего на роlikоопоры 7 грузонесущей ветви 3. При этом ширина среднего ролика 10 подвесной роlikоопоры 7 принята равной двойной ширине $2b$ примыкающих к нему наклонных роликков 11, ширина которых равна b . Роlikоопоры 8 нерабочей ветви 4 ленты выполнены прямыми. Смещенные вниз по вертикали роlikоопоры 8 нерабочей ветви 4 ленты относительно роlikоопор 7 грузонесущей ветви 3, соответствующее заданному углу α обхвата нерабочей ветвью 4 ленты среднего ролика 10 роlikоопоры 7 грузонесущей ветви 3, определяется из соотношения:

$$H = [D(\cos\alpha + \sin\alpha \tan\alpha) - \tan\alpha],$$

а минимальное смещение роlikоопоры нерабочей ветви относительно роlikоопоры грузонесущей ветви из условия отсутствия контакта между

грузонесущей и нерабочей ветвями ленты, соответствующее максимально возможному углу α обхвата нерабочей ветвью ленты среднего ролика роlikоопоры грузонесущей ветви

$$H_{\min} = 0,5Kga(l - a)(q_L + q)/S,$$

где D — диаметр роликков роlikоопор грузонесущей и нерабочей ветвей ленты, м; g — ускорение свободного падения, м/с²; l — шаг расстановки роlikоопор на грузонесущей ветви ленты конвейера, м; q_L, q — линейные массы соответственно конвейерной ленты и транспортируемого груза, кг/м; S — натяжение грузонесущей ветви ленты в заданной точке трассы конвейера, Н; K — коэффициент запаса ($K > 1$), исключающий возможность контакта между грузонесущей и нерабочей ветвями ленты при максимально поднятой роlikоопоре нерабочей ветви ленты; a — расстояние между смежными роlikоопорами грузонесущей 3 и нерабочей 4 ветвей конвейерной ленты.

12 и 13 — направления движения грузонесущей 3 и нерабочей 4 ветвей ленты; 14 — кинематически связанная с противовесом тележка натяжного устройства, на которой размещен приводной барабан 2.

Предлагаемое техническое решение может быть использовано не только на конвейерах с подвесными роlikоопорами на грузонесущей ветви ленты при ее увеличенной желобчатости, но и на конвейерах с обычными желобчатыми или прямыми роlikоопорами на грузонесущей ветви ленты.

Ленточный конвейер действует следующим образом. При одновременном включении двигателей приводов головного 1 и концевой 2 приводных барабанов грузонесущая 3 и нерабочая 4 ветви ленты движутся в направлениях 12 и 13. Головной барабан 1 развивает тяговое усилие, необходимое для перемещения грузонесущей ветви 3, а концевой барабан 2 — для перемещения нерабочей ветви 4 с обеспечением необходимого натяжения конвейерной ленты в точке ее сбегающего с приводного барабана 1. Для этого он совмещен с натяжным устройством конвейера, т. е. размещен на тележке 14 с возможностью ее смещения, например, с помощью кинематически связанного с тележкой противовеса. При этом за счет взаимодействия нерабочей ветви 4 ленты со средними роликками 10 роlikоопор 7 грузонесущей ветви 3, которые лента огибает с углом обхвата α , всем средним роликкам 10 роlikоопор 7, размещенных по тракту конвейера, сообщается крутящий момент, что обеспечивает передачу грузонесущей ветви 3 ленты соответствующих тяговых усилий для ее перемещения. Это,

во-первых, снижает потребную величину тягового усилия, развиваемого головным приводным барабаном 1, и, во-вторых, соответственно уменьшает величину натяжения грузонесущей ветви 3 ленты.

При этом благодаря увеличенной ширине (2b) среднего ролика 10 роlikоопор 7 нагрузка на них от веса грузонесущей ветви 3 ленты и транспортируемого груза составляет значительную долю от общей нагрузки $g(q_{\text{л}} + q)$ на роlikоопору 7. Поэтому передаваемый от нерабочей ветви 4 ленты среднему ролику 10 крутящий момент в полной мере реализуется в виде тяговых усилий, передаваемых от роlikов 10 грузонесущей ветви 3 ленты.

Кроме того, благодаря увеличенной ширине среднего ролика 10 подвесной роlikоопоры 7 уменьшается деформация нерабочей ветви 4 ленты при ее взаимодействии с подвесными роlikоопорами 7 грузонесущей ветви 3 ленты и ее напряжения изгиба.

Тяговые усилия, передаваемые от нерабочей ветви ленты роliкам первой и второй (по ходу движения нерабочей ветви) из размещенных по длине конвейера смежных роlikоопор грузонесущей ветви ленты, между которыми размещена роlikоопора нерабочей ветви, соответственно равны:

$$W_{i1} = t_i(e^{f\theta} - 1), W_{i2} = t_0(e^{f\alpha} - 1),$$

$$t_0 = t_i e^{f\theta} + \{t_i(e^{f\theta} 2\sin[0,5(\alpha + \theta)] + gG_{\text{рн}} + gq_{\text{л}}\cos\beta\}w - gq_{\text{л}}\sin\beta,$$

где t_i, t_0 — натяжения нерабочей ветви ленты в точках ее набегания соответственно на первую и вторую роlikоопору грузонесущей ветви ленты, Н; θ, α — углы обхвата нерабочей ветвью ленты роlikов первой и второй роlikоопор грузонесущей ветви, рад; f — коэффициент трения между нерабочей ветвью ленты и роliками роlikоопор грузонесущей ветви; $G_{\text{рн}}$ — масса вращающихся частей роlikоопоры нерабочей ветви ленты, кг; $q_{\text{л}}$ — линейная масса ленты, кг/м; w — коэффициент сопротивления движению нерабочей ветви конвейерной ленты по своим роlikоопорам; i — порядковый номер парных смежных роlikоопор грузонесущей

ветви. При этом i зависит от шага расстановки / роlikоопор на грузонесущей ветви ленты (м) и числа парных роlikоопор $n = L/(2l)$, где L — длина конвейера, м; β — угол наклона конвейера к горизонту, °.

Тяговое усилие, передаваемое нерабочей ветвью ленты роliкам двух смежных роlikоопор грузонесущей ветви и соответственно самой грузонесущей ветви ленты, определяется по формуле:

$$W_i = W_{i1} + W_{i2}.$$

Таким образом, предлагаемое техническое решение позволяет существенно увеличить тяговое усилие, передаваемое конвейерной ленте, с уменьшением натяжения грузонесущей ветви ленты подъемных, уклонных и горизонтальных конвейеров увеличенной длины, что позволяет увеличить длину конвейеров и их производительность при предельных углах наклона конвейеров, а также увеличить ресурс конвейерной ленты за счет снижения нагрузок на нее. Кроме того, при использовании нового технического решения обеспечивается также надежное улавливание обеих ветвей конвейерной ленты при ее возможном обрыве за счет увеличенной силы трения между обеими ветвями благодаря увеличенным углам обхвата нерабочей ветвью ленты роlikов роlikоопор грузонесущей ветви.

Использование новой конструкции ленточного конвейера на предприятиях горной и других отраслей промышленности позволяет не только расширить конструктивные и эксплуатационные возможности использования ленточных конвейеров, но и улучшить их технико-экономические показатели.

Список литературы

1. Пат. № 2457165 (РФ). Ленточный конвейер / Ю. Д. Тарасов. Заявл. 30.11.2011 г. № 2010148937, МПК B65G 15/00, 15/60. Оpubл. 27.07.2012, бюл. № 21.
2. Пат. № 2457166 (РФ). Ленточный конвейер с подвесными роlikоопорами / Ю. Д. Тарасов. Заявл. 30.11.2010, МПК B65G 15/08, 15/60. Оpubл. 27.07.2012, бюл. № 21.

ООО "Издательство "Новые технологии", 107076, Москва, Стромынский пер., 4

Дизайнер Т.Н. Погорелова. Технический редактор Е.В. Конова. Корректор Е.В. Комиссарова.

Сдано в набор 10.04.2013. Подписано в печать 27.05.2013. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,88. Заказ GO513. Цена свободная.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-19854 от 15 апреля 2005 г.

Оригинал-макет ООО "Авансес солюшнз". Отпечатано в ООО "Авансес солюшнз". 105120, г. Москва, ул. Нижняя Сыромятническая, д. 5/7, стр. 2, офис 2.