

# МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «УРАЛЬСКАЯ ГОРНАЯ ШКОЛА – РЕГИОНАМ»

---

8-9 апреля 2013 года

## ТЕХНОЛОГИИ КОНСТРУИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

УДК 622.66

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТОРМОЖЕНИЯ ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ МАШИН

Попов Ю. В., Степанов С. В.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Шахтные подъемные установки (ШПУ) развиваются по пути увеличения высоты подъема, грузоподъемности и скорости движения сосудов. Достичь высоких параметров удалось путем совершенствования всех узлов ШПУ, в том числе тормозных устройств.

Тормозная система является важнейшим звеном в работе подъемной установки, обеспечивающим безопасность ее работы.

Экспериментальными исследованиями [4] динамики ШПУ установлено, что наибольшие динамические нагрузки элементы подъема испытывают при наложении предохранительного тормоза. В этот момент амплитуда колебаний сосудов на канатах достигает максимальных значений после стопорения органа навивки, возникают большие напряжения в канате, что может привести к его обрыву [3].

Таким образом, важнейшей задачей совершенствования предохранительного торможения является оптимизация его параметров.

Согласно п.357 ПБ 03-553-03, среднее замедление при предохранительном торможении не должно превышать  $5 \text{ м/с}^2$  при движении сосуда вверх и быть меньше  $1,5 \text{ м/с}^2$  при движении сосуда вниз [2]. Для увеличения высоты подъема груза, а также снижения влияния чрезмерных ударных нагрузок на элементы подъемной установки, применяют избирательное торможение, при котором выбирается заданное значение замедления при движении вверх и вниз. Необходимо также добиваться плавности торможения путем установления постоянного замедления [1].

Избирательное торможение реализовано в системе управления тормозными приводами шахтной подъемной машины СПРУТ, разработанной и произведенной специалистами ЗАО «СМНУ «Цветметналадка». Пневматическая схема устройства разработана по принципу безотказности предохранительного тормоза в случае возникновения аварийной ситуации или выхода из строя оборудования тормозной системы. Так, при срабатывании предохранительного тормоза система определяет направление движения сосуда и производит настройку управляющих клапанов на заданное значение замедления. Таким образом, происходит регулирование тормозного усилия, за счет чего значительно уменьшаются динамические нагрузки при срабатывании ТП. Также уменьшаются время холостого хода и время срабатывания тормоза. Надёжность работы обеспечена за счёт двухканальности системы управления.

Установка СПРУТ на скиповую подъемную установку НКМЗ 1-5-5,6/0,8 предприятия ООО «Металл-Групп» (п. Яковлево, Белгородская обл.) позволило снять ограничение грузоподъемности и повысить ее с 20 т до 25т, что, в целом, увеличило производительность на 20%.

Осциллограмма регулируемого предохранительного торможения при подъёме груза Q=25 т приведена на рисунке 1.

Предохранительное торможение (график 4) срабатывает при движении скипа вверх на скорости 8 м/с (график 1). В течение 0,2-0,3 с происходит переключение на необходимую группу клапанов, а после – полный сброс воздуха из тормозных цилиндров (график 3). В результате подъемная машина тормозит плавно, а скорость ее близка к скорости задания (график 2), что является желаемым результатом.

Среднее замедление составило  $2 \text{ м/с}^2$ , а время срабатывания снизилось с 0,7 с до 0,54 с, по сравнению со старой системой тормоза.

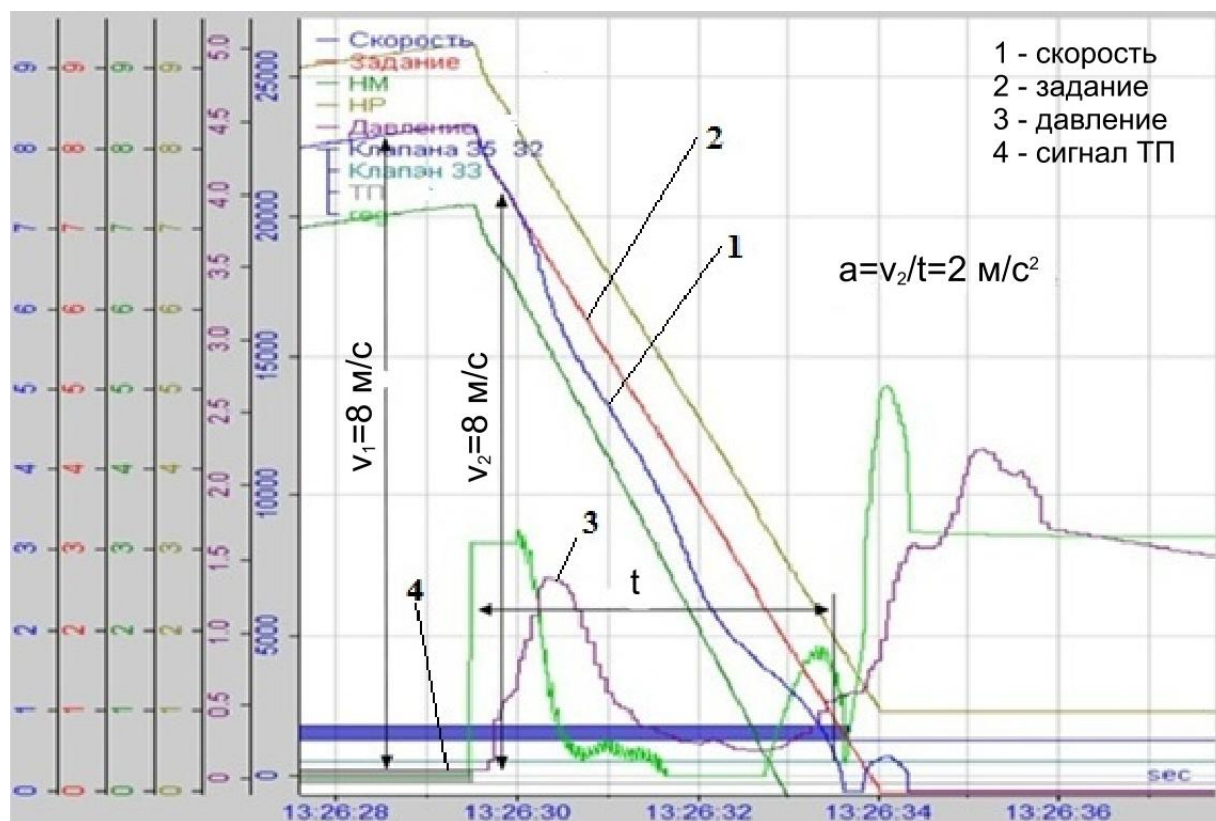


Рисунок 1 – Осциллограмма регулируемого предохранительного торможения при подъёме груза Q=25 т

Таким образом, изменение параметров торможения ШПУ позволяет снизить риск возникновения аварии, уменьшить простои, вызванные этими авариями и, как следствие, повысить производительность работы подъемной установки.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бежок В. Р., Чайка Б. Н. Руководство по ревизии, наладке и испытанию шахтных подъёмных установок. – М.: Недра, 1982.
2. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых открытым способом (ПБ 03-553-03). – М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2010.
3. Степанов А. Г. Динамика шахтных подъемных установок. – Пермь: УрО РАН, 1994.
4. Траубе Е. С., Найденко И. С. Тормозные устройства и безопасность шахтных подъемных машин. – М.: Недра, 1980. 256 с.

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ДОБЫЧИ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ МЕТАНА УГОЛЬНОГО ПЛАСТА

Потапов В. Я., Дубовский В. Г.  
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

В настоящее время в нашей стране большое внимание уделяется возможности удаления метана из газообильных пластов. Такая задача является не только актуальной в плане дальнейшей безопасности отработки угольных пластов, но и дополнительно использовать газ для промышленных целей.

Вопрос по добычи угольного метана через скважины, пробуренные с дневной поверхности, сейчас является очень актуальным, т.к. многие ученые не верят, что из неразгруженных угольных пластов возможна промысловая добыча метана.

Метан угольных пластов, как любое природное сырье, должен пройти стадии извлечения, подготовки и использования. Все стадии представляют единую технологическую цепь.

В настоящее время извлечение метана из угольных пластов осуществляется дегазационными и вентиляционными системами.

Промышленное использование в теплоэнергетике и химическом производстве практически находится на начальной стадии.

В настоящее время добываемый метан на шахтах России в объеме чуть более 800 млн м<sup>3</sup> из дегазационных и 6-7 млрд. м<sup>3</sup> из вентиляционных систем выбрасывается в атмосферу, нарушая микроклимат в угледобывающих регионах, способствуя разрушению озонового слоя, ухудшая здоровье людей\* [1].

Дегазационные и вентиляционные системы изначально не предусматривают использование метана, их задача – обеспечение безопасных условий в горных выработках.

Малый процент использования обусловлен еще и тем, что концентрация метана в извлекаемых метано-газовых смесях постоянно колеблется в значительных пределах – от 10 до 60 %. Метано-газовые смеси не подвергаются подготовке и поднятию давления в транспортной системе. Плата за экологию еще не стала ощутимой статьей затрат.

Все говорит за то, что извлечение и промышленное использование метана угольных пластов является единым целым технологическим звеном в деятельности шахт, так как это позволяет снизить затраты на безопасность горных работ и экологию, обеспечить получение дополнительных энергоресурсов и новых химических продуктов с собственной стоимостью, значительно улучшить экономику шахт, делает их более рентабельными и конкурентоспособными.

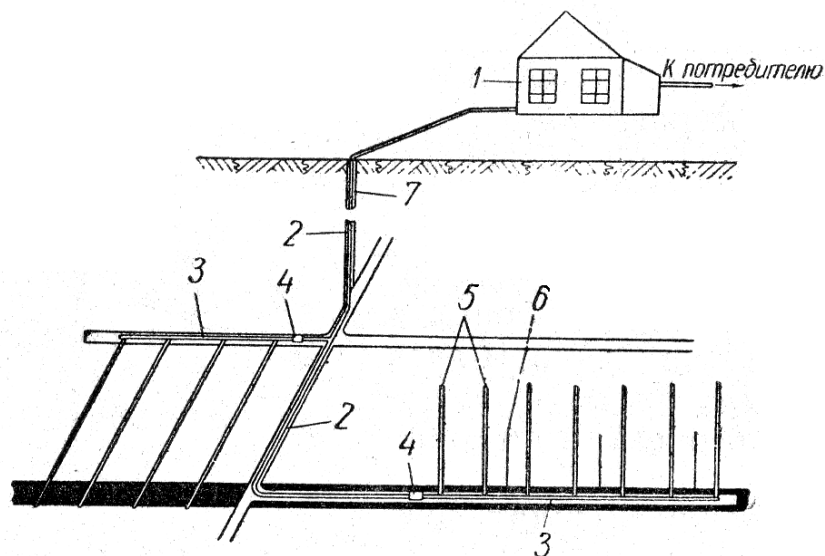
Дегазационная установка состоит из вакуумной установки, главного газопровода и дегазационных участков.

Вакуумная установка включает один или несколько вакуум-насосов, электродвигатели к ним и всю пусковую и контрольно-измерительную аппаратуру.

При помощи главного газопровода к вакуумной установке подключаются дегазационные участки, состоящие из нескольких дренажных скважин и участковых газопроводов. Схема дегазационной установки расположенной на поверхности, приведена на рисунке 1.

---

\* Стрельников Д. А. Разработка угольных месторождений Кузбасса. – М.: Углетехиздат, 1959. 888 с.



1 — вакуумная установка; 2 — главный газопровод; 3 — участковый газопровод;  
4 — водоотделитель; 5—дренажные скважины, пробуренные по восстанию пласта;  
6 — контрольные скважины; 7 — техническая скважина

Рисунок 1 – Схема дегазационной установки

Вакуумная установка может быть установлена при соответствующих условиях и необходимости и под землей. Эта необходимость может быть обусловлена, если фактическая длина всасывающего газопровода превышает расчетную.

Использование такой технологии позволит обеспечить развитие инфраструктуры малых городов после закрытия горного производства связанной с задачами обеспечения занятости населения. Такими предприятиями в г. Губаха является предприятие ОАО «Метафракс», которое испытывает проблемы экономического характера, а также проблему с доставкой сырья для производства основных видов продукции.

В работе рассмотрены варианты создания технологии добычи метана из законсервированных шахт Кизеловского угольного бассейна на примере шахт г. Губаха.

В работе приведены расчеты основного и вспомогательного оборудования для дегазации метана из газообильных пластов.

Схема построена на основании стационарного оборудования используемого на горных предприятиях. Решены вопросы транспортировки газа к потребителям.

Представленные в работе решения позволяют обеспечить жителей города теплоэнергией при использовании газа в котельных, а также создания дополнительных рабочих мест на предприятии ОАО «Метафракс».

Проведена экономическая оценка проекта.

Разработаны мероприятия по безопасному ведению работ по добыче и утилизации газа.

Результаты работы могут быть предложены руководству г. Губаха для создания таких комплексов для добычи и транспортировки метана из угольных пластов.

## РАЗДЕЛЕНИЕ ГЛИНОЗЕМНОГО СЫРЬЯ ПО ТРЕНИЮ И УПРУГОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ОГНЕУПОРОВ

Потапов В. Я., Потапов В. В., Семериков Л. А., Конев Я. И.  
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Используемый при кирпичном производстве глинозем не всегда является достаточно однородным по составу из-за содержания твердых включений, считаем целесообразным выделение из глины твердых включений, разрушение их и объединение основной массы глины с измельченными твердыми включениями. Прямая дезинтеграция глин с разрушением твердых включений не представляется перспективной, поскольку глинистая часть материала создает демпфирующий эффект и делает совместную дезинтеграцию неэффективной.

Используемые в настоящее время в технологии подготовки глинистого сырья к кирпичному производству грохот, колки, валки недостаточно эффективно удаляют твердые включения (кварц, диабаз, базальт) из массива.

Кроме того, вследствие воздействия этих устройств на твердые включения, они их частично разрушают и перемешивают с массивом глин.

Установлено, что после подготовки глины в объеме сформированного кирпича содержатся твердые включения класса  $-20 + 2$  мм, которые после обжига кирпича ухудшают его структуру, а также прочностные свойства, что приводит к 10-15 % браку всей партии.

По технологии подготовки глины предусматривается для улучшения спекаемости глины ее «отошение» за счет введения твердых тонкоизмельченных наполнителей. В качестве наполнителей используются шлаки и присутствующие в глинистом сырье твердые мелкие включения в виде гравия класса  $-1 + 0$  мм.

Для повышения эффективности извлечения твердых включений из глины была предложена технология, использующая различие в эффектах взаимодействия кусков разделяемых компонентов с рабочей поверхностью аппарата. В качестве признака разделения рассматривались коэффициенты трения, упругости, формы, а также несколько эффектов взаимодействия материала с рабочей поверхностью аппаратов (таблица 1). Для определения их физических параметров была использована методика оценки упругих и фрикционных характеристик [1, 2].

Гранулометрический состав глинозема изучался на сырье Асбестовского кирпичного завода (АЗК).

Для обоснования конструкции аппаратов, выбора их параметров, а также схем обогащения для глинистого сырья, выполнены теоретические и экспериментальные исследования процесса разделения на полупромышленных моделях сепараторов с подвижной (барабанно-полочный фрикционный сепаратор – БПФС) и неподвижной (сепаратор для разделения сыпучих материалов по трению и упругости – СПРУТ) разделительными поверхностями.

Продукты разделения подвергались ситовому анализу с оценкой количества выделенных твердых и глинистых включений в каждый класс крупности.

Использование БПФС в схемах выделения твердых включений из глиноземного сырья, позволило выделить глины 43,2 %: с содержанием в ней твердых включений 8 % и твердых включений 56,8 % с содержанием глины 12 %.

Таблица 1 – Показатели физико-механических свойств на различных поверхностях разделения (сталь/резина)

Продукт	Коэффициенты			
	статического трения, $f$	кинематического трения, $f_{ск}$	восстановления, $k$	трения при ударе, $\lambda$
<b>Глина</b>	-	-	-	-
Сталь	0,74	0,62	0,12	0,36
Резина	1,1	0,88	0,09	0,48
<b>Кварц</b>	-	-	-	-
Сталь	0,46	0,37	0,76	0,08
Резина	0,59	0,47	0,33	0,12
<b>Песчаники</b>	-	-	-	-
Сталь	0,46	0,3	0,73	0,12
Резина	0,59	0,47	0,33	0,19
<b>Известняки</b>	-	-	-	-
Сталь	0,55	0,37	0,7	0,13
Резина	0,74	0,59	0,44	0,13
<b>Извер. породы</b>	-	-	-	-
Сталь	0,46	0,31	0,76	0,07
Резина	0,60	0,48	0,35	0,18

Использование в схеме для разделения сырья сепаратора СПРУТ позволило выделить глины 38,8 % с содержанием твердых включений 6 % и твердых включений 61,2 % с содержанием глины 11 %.

Хвосты сепараторов СПРУТ и БПФС (твердые включения) в дальнейшем подвергались дроблению на роторной дробилке, с целью использования мелкодробленных продуктов в качестве наполнителей для «отошения» глины.

**Выводы.** Полученные данные о фрикционных и упругих характеристиках глинистого сырья свидетельствуют о высокой контрастности исследуемого признака и возможности его использования для разделения продуктов входящих в его состав.

Предлагаемые технические решения, на базе предложенных аппаратов, могут быть использованы в схемах подготовки сырья кирпичного производства для обеспечения качества производимой продукции и адаптированы с учетом специфики глинистого сырья и предприятий – производителей кирпича.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

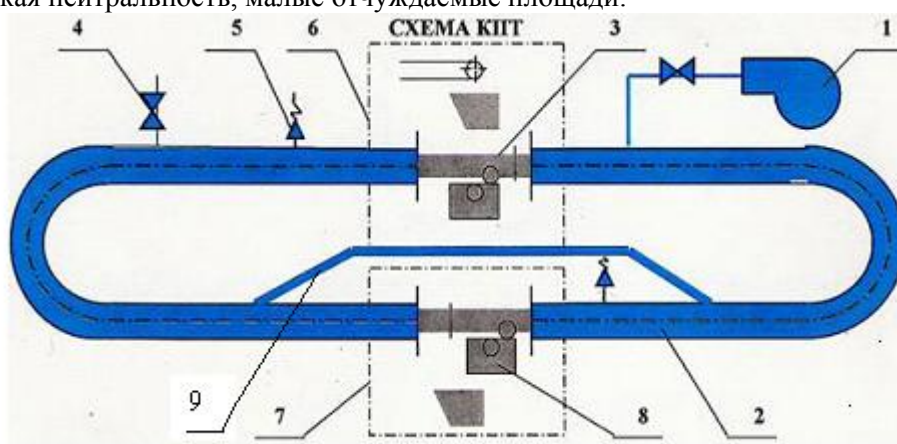
1. Потапов В. Я. Обоснование методов экспериментального определения коэффициентов трения качения для горных пород / С. А. Ляпцев, В. Я. Потапов // *Фундаментальные исследования*. М.: РАЕ, № 3, 2012. С. 102-105. URL: [www.rae.ru/fs/?section=content&op=show\\_article&article\\_id=7981910](http://www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=7981910).
2. Потапов В. Я. Методика определения упругих и фрикционных характеристик сыпучих материалов / В. Я. Потапов, Е. Ф. Цыпин, С. А. Ляпцев, А. И. Афанасьев // *Изв. вузов. Горный журнал*. № 5-6. 1998. С. 103-108.

## СИСТЕМЫ КОНТЕЙНЕРНОГО ПНЕВМОТРАНСПОРТА (КПТ)

Давыдов С. Я., Потапов В. Я., Костюк П. А.  
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

В развитии отечественного и зарубежного промышленного транспорта идет ускоренное освоение контейнерного пневмотранспорта (КПТ) как наиболее перспективного [1-5].

Отличительные особенности новых разработок систем контейнерного пневмотранспорта (КПТ) (рисунок 1) сыпучих материалов, используемых в стройиндустрии: высокая пропускная способность, высокая производительность труда, простота и надежность технологического оборудования, независимость от погодных условий, экономичность, экологическая нейтральность, малые отчуждаемые площади.



1 – нагнетательная станция; 2 – трубопровод; 3 – контейнеры; 4 – задвижка сброса воздуха;  
5 – предохранительный клапан; 6 – участок загрузки; 7 – участок разгрузки; 8 – приводное устройство;  
9 – обводной трубопровод

Рисунок 1 – Система контейнерного пневмотранспорта

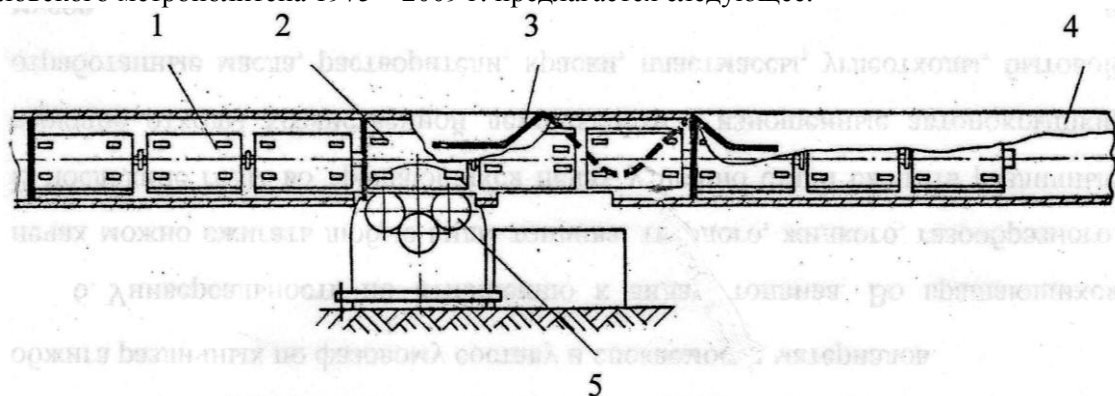
Обводной трубопровод 9 для перепуска сжатого воздуха из тормозного участка загруженных контейнеров транспортируемым материалом в участок разгона порожних контейнеров транспортного трубопровода позволяет использовать отработанный воздух грузовой ветви трубопровода для перемещения порожних контейнеров.

Анализ технической и научной литературы показал, что производительность систем КПТ зависит главным образом от участков загрузки и разгрузки. Увеличение производительности может быть обеспечено непрерывностью движения контейнеров на этих участках. Безостановочная загрузка контейнеров решена конструктивно, подобно загрузке пластинчатых конвейеров или конвейерных поездов с перегородками. Вместе с тем, разгрузка горной массы без остановки контейнеров путем их поворота вокруг осевой линии зависит от процесса высыпания насыпного груза. На участках загрузки и разгрузки контейнеры принудительно и безостановочно передвигаются приводным устройством (рисунок 2), состоящим из непрерывно вращающихся шин трения. Размещение шин предусмотрено таким образом, чтобы они всегда контактировали с контейнерами.

Помимо массивных шин по ГОСТ 5883-65 возможно использование шин автомобильных и горных машин. После предварительных исследовательских работ в качестве приводных шин для передачи тягового усилия для контейнеров были использованы авиационные шины.

Все выше описанное относилось к КПТ промышленных грузов.

С учетом многочисленных проектов по использованию КПТ и небольшого опыта по кураторству ТЭО, изыскательских и проектных работ и освоения лимитов строительства Свердловского метрополитена 1975 – 2009 г. предлагается следующее.



1 – контейнеры; 2 – колесные опоры; 3 – винтообразная разгрузочная направляющая;  
4 – трубопровод; 5 – приводное устройство

Рисунок 2 – Схема участка разгрузки контейнеров кольцевой системы КПТ

В случае использования в системе контейнерного пневмотранспорта (рисунок 1) открытого участка меньше состава контейнеров этот вид транспорта предлагается использовать для перевозки рабочих от карьера до завода на территориях с суровым климатом, например в Норильске. В этом случае КПТ будет под названием пассажирский пневмотранспорт (ППТ) – пневмотранспорт завтрашнего дня (рисунки 3, 4).

В данном случае приемные станции подобны станциям метрополитена меньшего сечения. Новшеством станционных участков является то, что поезда с открытыми дверями на этих участках движутся непрерывно со скоростью перемещения движущихся тротуаров. Закрытие этих дверей происходит при проходе в транспортный трубопровод.



1 – дисплей и строка прогресса пути; 2 – внутренняя отделка модуля; 3 – внутренний корпус модуля; 4 – каркас модуля; 5 – внешний корпус вагона; 6 – оборудование для технического обеспечения вагона

Рисунок 3 – Пассажирский пневмотранспорт





Рисунок 4 – Салоны поездов ППТ

Пневмопоезд обладает рядом отличительных особенностей. Одна из них – высокая скорость передвижения (150...200 км/ч). При этом поезд движется очень плавно, настолько, что пассажир, стоящий посреди салона и не имеющий опоры не рискует упасть ни во время движения, ни во время торможения или разгона состава. Трубная магистраль, по которой курсирует состав, может быть проложена под землей, под рекой, над рекой, на эстакаде. ППТ обладает независимостью от погодных условий. Транспорт экологически чистый и не загрязняет окружающую среду. Благодаря возможности прокладки трубопроводов в горных условиях, болотистой местности и в труднодоступных районах системы ППТ можно применять там, где использование транспорта других видов связано с очень большими техническими трудностями и материальными затратами. Число обслуживающего персонала минимально, что создает благоприятные условия для внедрения систем ППТ в отдаленных районах с ограниченными трудовыми ресурсами. Перемещение пассажиров осуществляется в комфортных условиях, в эргономически проработанных креслах. Интерьер с оборудованием решен в современном ключе с учетом дизайнерских тенденций.

Расчеты ППТ, выполненные применительно к трассе платформа Маливо – г. Зеленоград протяженностью 6 км, показали, что этот вид транспорта по капитальным затратам и эксплуатационным расходам приблизительно в два раза дешевле метрополитена и лишь несколько уступает последнему по пропускной способности [6].

Таким образом, все выше перечисленные разработки и предложения были выполнены в свете транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года [7].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Давыдов С. Я. Контейнерный пневмотранспорт и его использование для перемещения насыпных грузов / С. Я. Давыдов, А. М. Мальцев. – М.: ЦНИИцветмет экономики и информации, 1981. 48 с.
2. Давыдов С. Я. Энергосберегающее оборудование для транспортировки сыпучих материалов: Исследование, разработка, производство. – Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 2007. 317 с.
3. Давыдов С. Я. Контейнерный пневмотранспорт с повышенной пропускной способностью / С. Я. Давыдов, И. Д. Кашеев, А. Е. Замураев, О. Н. Миногина // Новые огнеупоры. 2005. № 7. С. 17-21.
4. Давыдов С. Я. Конструкторская доработка поточной системы контейнерного пневмотранспорта / С. Я. Давыдов, И. Д. Кашеев, С. Н. Сычев, Р. А. Фазылов // Новые огнеупоры. 2010. № 5. С. 15-20.
5. Давыдов С. Я. Экспериментальные исследования процесса разгрузки сыпучего материала из вращающегося контейнера контейнерного пневмотранспорта / С. Я. Давыдов, Г. Г. Кожушко, С. Н. Сычев // Новые огнеупоры. 2011. № 2. С. 9-14.
6. Контейнерный трубопроводный пневмотранспорт / А. М. Александров, В. Е. Аглицкий, П. В. Кованов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1979. 263 с.
7. Закураев А. Ф. Теория проектирования надземной универсальной трубопроводной пассажирской транспортной артерии в мегаполисе: автореф. ... д-ра техн. наук. Нальчик, 2003.

## МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ДРОБЛЕНИЯ

Дылдин Г. П., Смирнов Д. А., Ильин Н. А., Поезжаев К. С., Овчинников В. Е.  
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

При моделировании работы дробилок применяют два принципиально отличающихся метода: теоретический — заключающийся в анализе движения и процесса разрушения (дробления) отдельных кусков (или небольших порций) материала при их прохождении через дробилку [1] и эмпирический — когда экспериментальные данные аппроксимируются адекватно отображающими их функциями [2, 3]. При теоретическом методе большие трудности возникают при описании интегральных характеристик процесса дробления, что связано со случайным характером разрушения и движения кусков в дробилке. Сугубо эмпирический метод не учитывает физическую сущность, протекающих в исследуемом объекте процессов (эмпирический метод использует метод «черного ящика», при котором рассматриваются только входные и выходные параметры процесса). Поэтому в ряде случаев применяют приемы, характерные для обоих методов моделирования [2], а именно вид зависимости между входными и выходными величинами определяют на основе анализа протекания процессов в объекте, а также путем подбора коэффициентов уравнения зависимости входных и выходных величин опытным путем.

Моделирование работы всего дробильно-сортировочного комплекса возможно лишь при математическом описании распределения кусков по крупности в транспортируемых потоках материала. Некоторые важные вопросы можно решать, характеризуя гранулометрический состав кусков в потоке материала средним диаметром. В качестве критерия усреднения используется требование сохранения некоторого определяющего свойства смеси кусков. Преимущественно применяют средневзвешенную оценку

$$D_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^r \gamma_i d_i}{\sum_{i=1}^r \gamma_i}, \quad (1)$$

где  $\gamma_i$  — относительный весовой выход  $i$  — класса крупности;  $d_i$  — среднеарифметический диаметр  $i$  — класса крупности;  $r$  — количество классов крупности в пробе материала.

Для решения задач необходимо знать всю характеристику крупности кусков в потолке материала. Различают три типа характеристик: частные, суммарные и кривые распределения [2, 3]. Аналитические выражения, описывающие выход различных классов крупности, чаще всего получают выравниванием эмпирических кривых распределения уравнениями типа

$$Y = X^k \exp[f(X)], \quad (2)$$

где  $Y$  — суммарный выход класса мельче  $X$ ;  $X$  — размер отверстия сита;  $k$  — показатель характеризующий кривизну характеристики крупности и теоретически обосновывают некоторой схемой вероятностного процесса.

Методами математической статистики получены и другие формулы, аппроксимирующие характеристики крупности кусков в потоке [1]. Известны аналитические выражения, описывающие грансостав продуктов дробления, полученные на основании различных гипотез о дробимости материала и условий его прохождения через дробилку [4]. В работе [5] решена общая задача аппроксимации законов ограниченных случайных величин полиномами типа

$$P_n(x) = \sum_{i=1}^n a_i x^i, \quad (3)$$

где  $n$  — степень аппроксимирующего полинома;  $a_i$  — искомые коэффициенты аппроксимирующего полинома;  $x$  — случайный размер частиц в анализируемом материальном потоке.

Получены аппроксимирующие многочлены до пятого порядка. Показано, что увеличивая степень аппроксимирующего многочлена  $n$ , можно сколь угодно точно описать любую кривую распределения гранулометрического состава. Однако, несмотря на все более детальный анализ технологических процессов в дробильно-сортировочных комплексах (ДСК) и возрастающую сложность применяемого математического аппарата продолжается поиск универсальных уравнений характеристик крупности.

Сложность моделирования грансостава обусловлена тем, что крупность кусков в потоках материала является случайной функцией времени. Поэтому нет общих закономерностей распределения кусков по крупности и при рассеивании частных проб получают случайные реализации грансостава в потоке. При этом значительна и случайная составляющая грансостава, т.к. продукты разных стадий дробления уверенно различаются. Случайная составляющая грансостава определяется нестабильностью физико-механических свойств дробимого материала, погрешностями пробоотбора и ситового анализа.

Следует отметить, что существуют большие транспортные запаздывания в технологических процессах дробления, особенно с использованием рециклов, которые усложняют процесс управления технологическим процессом и дробилками, работающими в рецикле с грохотами. В связи с этим возникает необходимость сократить запаздывание между формированием управляющего воздействия и воздействием на дробилку, работающую в рецикле. Одним из возможных решений является регулирование режима грохотов поверочного грохочения, работающих в рецикле с дробилкой мелкого дробления. В связи с этим возникает задача разработки способа и математической модели процесса управления режимом работы грохота.

В исследовании процессов сокращения крупности получил известность метод матричных и кинетических моделей [4]. В матричной модели процесс дробления рассматривается как последовательность актов разрушения, причем исходным материалом для каждого такого акта является продукт предыдущего. В кинетической модели процесс рассматривается как непрерывный. Так же рассматривается модель третьего типа [4] (модель идеального перемешивания), которая объединяет преимущества матричной и кинетической моделей.

Большие вычислительные возможности, память и быстродействие современных ЭВМ позволяют разрабатывать матричные модели ДСК достаточно большой размерности. Эти модели получают по следующей типовой схеме:

- определяют выходные параметры ДСК (характеризующие работу всего ДСК и которые предполагают оптимизировать);
- обеспечивают измерение параметров, влияющих на процесс дробления;
- проводят эксперимент, варьируя регулируемые факторы;
- записывают систему линейных уравнений, связывающих выходные характеристики ДСК с контролируемыми и регулируемыми факторами;
- методами регрессионного анализа вычисляют коэффициенты линейной системы;
- оценивают адекватность полученной модели.

В ряде случаев матричное описание комбинируется с уравнениями материального баланса для двух и трех продуктовых схем, что в принципе приводит к нелинейной модели. Также применяют матричные модели для описания работы отдельных дробилок и грохотов, и на основании такого описания строят матричную модель дробильно-сортировочного комплекса, учитывающую его структуру. В расчетах используется уравнение Розина-Раммлера, хотя число экспериментально определяемых коэффициентов такой модели достаточно велико. Используются и методики синтеза статической модели любой технологической схемы ДСК, заключающиеся в последовательном расчете преобразований потоков материала по мере их прохождения через типовые элементы и стадии дробления.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тихонов О. Н. Расчет гранулометрических характеристик продуктов дробления в открытом цикле // Изв. вузов. Горный журнал. № 5. 1978. С. 138-142.
2. Андреев С. Е., Перов В. А., Зверевич В. В. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. – М.: Недра, 1980. 415 с.
3. Справочник по обогащению руд. Т. 1. Подготовительные процессы / под ред. О. С. Богданова, В. А. Олевского. – М.: Недра, 1982. 366 с.
4. Линч Дж. А. Циклы дробления и измельчения. – М.: Недра, 1981. 343 с.
5. Белуженко В. М., Буняк И. П. Аппроксимация законов распределения крупности частиц в материальных потоках многочленами // Изв. вузов. Горный журнал. № 10, 1988. С. 121-125.

## ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА ДРОБЛЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЩЕБНЯ

Дылдин Г. П., Некрасов Н. Ю., Говоров К. В., Деменьшин П. М.  
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Оборудование дробления и классификации материала по крупности дробильно-сортировочных заводов по производству щебня, как правило, состоит из щековых дробилок с простым движением подвижной щеки, короткоконусных дробилок среднего и мелкого дробления и плоских вибрационных грохотов. Основные конструктивные, кинематические, технологические и эксплуатационные характеристики указанного оборудования описаны в работах [1, 2, 3, 4].

Основными показателями эффективности дробления являются — производительность  $Q_D$ , т/ч, крупность продуктов дробления  $d$ , мм и потребляемая при дроблении мощность  $N$ , кВт [5, 6]. Значения этих показателей зависят от параметров дробилок, режима их работы и физико-механических свойств дробимого материала.

Основными параметрами режима работы дробилок являются: размер разгрузочной щели дробилки  $C$ , м; величина хода подвижной щеки  $S$  или эксцентриситет подвижного конуса на уровне разгрузочного отверстия  $e_k$ , м; угол  $\alpha$  между подвижной щекой или поверхностью подвижного конуса и горизонтальной плоскостью, град; частота качаний щеки или конуса  $n$ , 1/мин; длина  $L$  разгрузочной щели для щековой дробилки; размер приемного отверстия дробилки  $B$ , м; расстояние от нижнего подвижного конуса до центра качаний  $L_{0,m}$ ; диаметры подвижного конуса на уровне приемного  $D_1$  и разгрузочного  $D_2$  отверстий, м; длина параллельной зоны конусной дробилки  $L$ , м; высота дробящего пространства  $H_m$ , м; максимальный объем дробящего пространства конусной дробилки  $V_m$ , м<sup>3</sup>; глубина рифления футеровки  $h$ , м; площадь подвижной щеки  $F$ , м<sup>2</sup>; зазор в эксцентриковом узле  $\Delta C$ , м; количество материала, подаваемого в дробилку  $Q$ , т/ч; средневзвешенный диаметр продукта, поступающего на дробление  $D_{cp}$ , м; объемный вес дробимого материала  $\gamma$ , т/м<sup>3</sup>; прочностные свойства материала, влияющие на его дробимость, оцениваемые коэффициентами  $K_Q, K_N, K_d$ .

Процесс грохочения можно характеризовать — производительностью по подрешетному продукту грохочения  $Q_{пр}$ , т/ч; грансоставом подрешетного продукта  $\gamma_i$ , %; производительностью по надрешетному продукту грохочения  $Q_n$ , т/ч; средневзвешенным диаметром продукта грохочения  $d_{ср,n}$ , м. При этом учитываются факторы: производительность по исходному продукту, поступающему на грохочение  $Q_{\Sigma}$ , т/ч, его средневзвешенный диаметр продукта  $d_{ср}$ , м и грансостав  $\gamma_i$ , %; размер отверстий просеивающей поверхности грохочения  $d_j$ , м и эффективность грохочения  $E$ , %.

Управляемыми параметрами процесса многостадийного дробления являются [6] мощности, затрачиваемые дробильными агрегатами, уровни материала в рабочем пространстве дробилок, гранулометрический состав дробленого продукта, производительность комплекса по готовому продукту.

В качестве управляющих параметров многостадийного процесса дробления могут быть использованы производительность питателя дробилки первичного дробления, частота качаний подвижных дробящих элементов, размеры разгрузочных щелей дробилок и отверстий сит грохотов.

Основные возмущающие воздействия, влияющие на производительность и крупность дробленого продукта — гранулометрический состав и физико-механические свойства исходной горной породы. Кроме того, возмущения могут возникать в результате изменения по каким-либо причинам расхода горной массы из бункера, что приводит к изменению производительности питателя при постоянной скорости.

Измерения грансостава в потоках кускового материала осуществляют гранулометрами трех типов:

- рассеивающие материал на две и более фракции;

- вибрационными, основанными на измерении вибраций чувствительного элемента, вызванных ударами кусков анализируемого потока;
- бесконтактными гранулометрами: ферромагнитными и сканирующими.

Известно большое количество контактных и бесконтактных уровнемеров. Из бесконтактных уровнемеров наиболее широко распространены радиоизотопные (гамма-реле), разработаны фотоэлектрические и ультразвуковые уровнемеры. Контактные уровнемеры менее надежны и их применяют сравнительно редко.

Измерение размеров разгрузочной щели осуществляют на холостом ходу или на остановленной дробилке контактным способом. Известны и косвенные методы оценки величины разгрузочных щелей. Измерения электрических, тепловых и механических величин осуществляют датчиками общепромышленного назначения. Измерение производительности различных потоков материала осуществляют конвейерными весами различных типов. Однако достаточно точных, надежных, серийно выпускаемых датчиков контроля технологических параметров ДСК явно недостаточно, что объясняется тяжелыми (для измерений) условиями работы оборудования: вибрации, запыленность, абразивность материала, неравномерность нагрузок.

Влияние изменения эксплуатационных характеристик дробилок и грохотов вследствие износа футеровки и сит можно отнести к помехам.

Негативно влияние на управляемость процесса дробления оказывает неудовлетворительная согласованность стадий дробления по пропускной способности и грансоставу, зависимость показателей эффективности от большого количества факторов, что приводит к большой размерности задач оптимизации, неприспособленность существующего оборудования и технологических схем автоматизации, наличие больших транспортных запаздываний.

Стохастическую изменчивость характеристик материальных потоков (крупность, прочность, интенсивность и т. д.) обычно описывают эргодическими и стационарными случайными процессами. Спектральную плотность некоторой характеристики потока материала на выходе дробилки рассчитывают умножением спектральной плотности входного потока на квадрат модуля передаточной функции дробилки по данному каналу. Оценку влияния изменений значимых факторов на показатели эффективности иногда удается с удовлетворительной точностью описать с помощью передаточных функций.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андреев С. Е., Перов В. А., Зверевич В. В. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. – М.: Недра, 1980. 415 с.
2. Справочник по обогащению руд. Т. 1. Подготовительные процессы / под ред. О. С. Богдановича, В. А. Олевского. – М.: Недра, 1982. 366 с.
3. Донченко А. С., Донченко В. А. Справочник механика рудообогатительной фабрики. – М.: Недра, 1975. 559 с.
4. Серго Е. Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. – М.: Недра, 1985. 285 с.
5. Марасанов В. М. Цифровая модель процесса дробления в конусных дробилках / В кн.: Автоматическое управление технологическими процессами в горной промышленности: Межвуз. науч. темат. сб. – Свердловск: 1985. С. 101-104.
6. Марасанов В. М., Дылдин Г. П. Моделирование работы трехстадийного дробильного комплекса с замкнутым циклом дробления // Всесоюзная научно-практическая конференция «Системный анализ и совершенствование хозяйственного механизма предприятия в условиях перестройки. Свердловск, 1990. С. 97-99.

## УЧЕТ НЕОДНОРОДНОСТИ ПЕРЕМЕЩАЕМОГО МАТЕРИАЛА ПРИ РАСЧЕТЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА В ГИДРОТРАНСПОРТНОМ ТРУБОПРОВОДЕ

Заспанов А. А., Ляпцев С. А.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Гидравлический удар представляет собой кратковременное повышение давления в трубопроводе при внезапном торможении двигавшегося по нему потока жидкости. Как правило, это явление возникает при быстром закрытии вентиля, резко перекрывающего поток. Учет неоднородности перекачиваемой среды при разработке мероприятий по защите от гидравлических ударов напорных пульпопроводов выполнен в работе [1]. В ней предложены меры и средства защиты от гидравлических ударов гидротранспортных систем, перекачивающих абразивные гидросмеси. Вместе с тем, представляется возможным произвести анализ предлагаемых мероприятий на основе расчета величины скачка давления в трубопроводе с учетом деформаций перемещаемого по нему материала.

Наибольшая величина скачка давления при гидравлическом ударе на гидросмеси (в пульпонасосном или закладочном трубопроводе) определяется, как правило, в соответствии с формулой [1]  $\Delta p_{уд} = c \Delta v \rho_{см} \rho_B^{-1} [(1 - s_{т.ж}) \rho_B + s_0 \rho_T]$ , где  $c$  – скорость распространения волны гидравлического удара, м/с;  $\Delta v$  – потеря скорости, м/с;  $\rho_B$ ,  $\rho_T$ ,  $\rho_{см}$  – плотности воды, твердого и гидросмеси, кг/м<sup>3</sup>;  $s_{т.ж}$  – относительное содержание твердого в воде по весу;  $s_0$  – объемная консистенция гидросмеси. По данным [1], опытные значения ординаты удара несколько меньше, чем расчетные. Одной из причин расхождения теоретического и экспериментального значения ударного давления является то, что скорость распространения волны гидравлического удара в указанной формуле определяется обычно без учета упругих свойств твердой фазы транспортируемого материала.

Величина изменения кинетической энергии гидросмеси определяется по формуле

$$\Delta T = 0,5 \rho_B v_0^2 (0,25 \pi D^2 l - G_{ТВ} g^{-1} \rho_{ТВ}^{-1}) + 0,5 G_{ТВ} (\alpha v_0)^2 g^{-1}, \quad (1)$$

где  $D$  – диаметр трубопровода, м;  $l$  – расстояние от места подачи гидросмеси до места закупорки, м;  $G_{ТВ}$  – вес твердого материала в магистрали, Н;  $v_0$  – скорость течения несущей среды в трубопроводе до гидравлического удара, м/с;  $\alpha v_0$  – скорость движения твердой фазы, м/с;  $\alpha$  – коэффициент сдвига (отставания или опережения воды твердой фазой [1]. Работа, расходуемая на деформацию стенок трубы при гидравлическом ударе [2],

$$A_{ТР} = 0,5 \pi D l \Delta R \Delta p_{уд}, \quad (2)$$

где  $\Delta R$  – величина деформации радиуса трубы. Полагая, что изменение давления не выводит трубопровод за область упругих деформаций, определим величину  $\Delta R$  по закону Гука:

$$\sigma_r = E_T \varepsilon_r = 0,5 D \delta^{-1} \Delta p_{уд}, \quad (3)$$

где  $\delta$  – толщина стенки трубы, м;  $\varepsilon_r$  – относительная радиальная деформация,

$$\varepsilon_r = 2 \Delta R D^{-1}, \quad (4)$$

где  $\sigma_r$  – радиальное нормальное напряжение, Н/м<sup>2</sup>;  $E_T$  – модуль упругости материала трубопровода, Н/м<sup>2</sup>. После подстановки значений (3) и (4) в (2) определяем работу, расходуемую на деформацию трубопровода:

$$A_{ТР} = 0,125 \pi D^3 l (\Delta p_{уд})^2 E_T^{-1} \delta^{-1}. \quad (5)$$

Обозначая через  $\Delta V$  объем сжатой жидкости в трубопроводе, вычислим работу сил сжатия несущей среды:

$$A_B = 0,5 \Delta V \Delta p_{уд}. \quad (6)$$

Относительное уменьшение объема упругой жидкости определяется зависимостью [3]

$$\Delta V = 0,25 \Delta p \pi D^2 l K_B^{-1}, \quad (7)$$

где  $K_B$  – среднее значение адиабатического модуля упругости жидкости, Н/м<sup>2</sup>. Подставляя выражение (7) в (6), получим  $A_B = 0,125 \pi D^2 l K_B^{-1}$ .

Работа на деформацию материала, перемещаемого жидкостью, равна сумме работ, затраченных на деформацию каждой частицы. Объем одной шарообразной частицы диаметром  $d_{CP}$  определяется формулой

$$V_1 = (1/6)\pi d_{CP}^3. \quad (8)$$

Обозначив через  $N$  количество шаров всей массы транспортируемого материала, определим вес твердого материала, содержащегося в трубопроводе:

$$G_{ТВ} = \rho_{ТВ} g N V_1. \quad (9)$$

Из соотношений (8) и (9) выразим эквивалентный размер твердой частицы

$$d_{CP} = (6G_{ТВ} \pi^{-1} \rho_{ТВ}^{-1} g^{-1} N^{-1})^{1/3}. \quad (10)$$

Работа, расходуемая на деформацию одной шарообразной частицы, может быть вычислена как интеграл [2]:

$$A_1 = \int_0^{0,5d_{CP}} \sigma_{r1} \Delta S_1 du_r, \quad (11)$$

где  $\sigma_{r1}$  – радиальное сжимающее напряжение, в каждой точке частицы равное  $\Delta p_{УД}$ ;  $\Delta S_1$  – площадь элементарной сферической оболочки толщиной  $dr$  и радиусом  $r$ :

$$\Delta S_1 = 4\pi r^2; \quad (12)$$

$du_r$  – элементарное радиальное перемещение точек выделенной сферы, определяемое по виду выражения конечных перемещений для точек шара, подверженному равномерному сжатию [3]:

$$u_r = (1 - 2\nu_{ТВ}) E_{ТВ}^{-1} \Delta p_{УД}; \quad (13)$$

$E_{ТВ}$  – модуль упругости твердой частицы;  $\nu_{ТВ}$  – коэффициент Пуассона. Подставляя выражения (12) и (13) в интеграл (11), получим  $A_1 = (4/3)\pi (\Delta p_{УД})^2 (0,5d_{CP})^3 (1 - 2\nu_{ТВ}) E_{ТВ}^{-1}$ . Принимая во внимание, что средний диаметр частицы определяется формулой (10), а также учитывая равенство для суммарной работы, расходуемой на деформацию всего твердого материала  $A_{ТВ} = N A_1$ , определим соотношение для этой работы в виде  $A_{ТВ} = (1 - 2\nu_{ТВ}) G_{ТВ} (E_{ТВ} \rho_{ТВ} g)^{-1} (\Delta p_{УД})^2$ .

Таким образом, общая работа, расходуемая на деформацию, определяется зависимостью

$$A_{ТР} + A_B + A_{ТВ} = [\pi D^3 l (8E_T \delta)^{-1} + \pi D^2 l (8K_B)^{-1} + (1 - 2\nu_{ТВ}) G_{ТВ} (E_{ТВ} \rho_{ТВ} g)^{-1}] \Delta p_{УД}^2.$$

По теореме об изменении кинетической энергии системы окончательно получаем величину скачка давления при гидравлическом ударе:

$$\Delta p_{УД} = \rho_B \nu_0 (K_B \rho_B^{-1})^{1/2} \{ [1 - q_0 (\rho_{ТВ}^{-1} - \alpha^2 \rho_B^{-1})] \cdot [1 + DK_B E_T^{-1} \delta^{-1} + 2q_0 (1 - 2\nu_{ТВ}) K_B E_{ТВ}^{-1}]^{-1} \}^{1/2}, \quad (14)$$

где через  $q_0$  обозначена масса твердого материала в одном кубометре трубопровода, кг/м<sup>3</sup>;

$q_0 = 4G_{ТВ} (\pi D^2 l g)^{-1}$ . При  $q_0 = 0$  выражение (14) совпадает с известной формулой Н. Е. Жуковского [3]  $\Delta p_{УД} = \rho_B \nu_0 (K_B \rho_B^{-1})^{1/2} (1 + DK_B E_T^{-1} \delta^{-1})^{-1/2}$ .

Из полученной зависимости следует, что скорость распространения ударной волны в гидросмеси ниже аналогичной скорости в чистой воде из-за расходования части энергии на деформацию твердых деформируемых частиц.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Махарадзе Л. И., Кирмелашвили Г. И. Нестационарные процессы в напорных гидротранспортных системах и защита от гидравлических ударов. – Тбилиси: Мецниереба, 1986. 152 с.
2. Тимошенко С. П., Гудьер Дж. Теория упругости. – М.: Наука, 1979. 560 с.
3. Башта Т. М., Руднев С. С. Гидравлика, гидромашин и гидропривод. – М.: Машиностроение, 2002. 422 с.

## РАЗРАБОТКА МНОГОКАНАТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ МАШИН НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Сайпуллаев А. А., Касимов А. А., Некрасов Н. Ю.  
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Начало разработки и освоения производства многоканатных подъемных машин в нашей стране относится к середине 50-х годов прошлого века. Разработанный тогда типажный ряд машин этого типа включал в себя диапазон диаметров их органов навивки от 2,1 до 5,0 м с числом канатов от двух до восьми, машины получили обозначение МК, например, МК 3,25×4 (многоканатная, диаметр шкива трения 3,25 м число канатов 4) [1, 2].

В 60-70-е годы шло конструктивное совершенствование как самих машин, так и технологии их изготовления (НКМЗ, Украина). Они получили новое обозначение ЦШ (цилиндрическая шкивная) и в соответствии с ГОСТом выпускались с числом канатов 4, 6 и 8 и диапазоном диаметров 2,1 – 5,0 м.

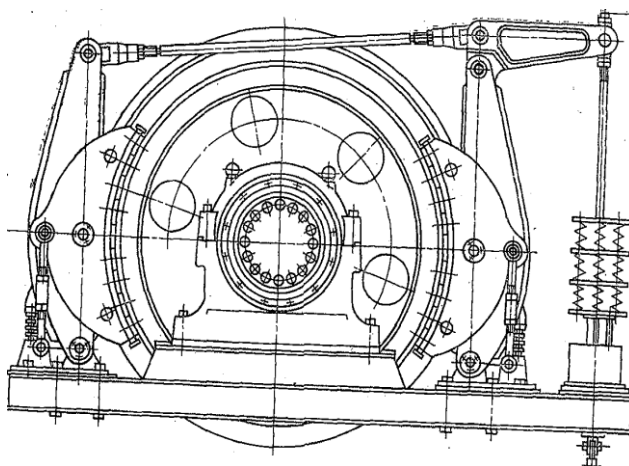
К моменту распада СССР на его шахтах и рудниках находилось в эксплуатации около 550 подъемных машин типов МК и ЦШ практически всех предусмотренных ГОСТом типоразмеров. Следует отметить их достаточно высокое конструктивное совершенство и надежность в эксплуатации.

Однако в настоящее время подъемные машины типа ЦШ (не говоря уже о МК) морально и физически устарели и требуют своей замены. Для обоснования возможности их дальнейшей эксплуатации, должны проводиться экспертизы промышленной безопасности.

В современной горной промышленности России наметилась тенденция наземного расположения многоканатных машин (вместо привычного - башенного) как более прогрессивного и перспективного направления [4]. Первые такие подъемные установки с участием кафедры ГМ УГГУ были спроектированы и построены на подземном руднике Гайского ГОКа. Ввиду того, что в РФ отсутствует производство подъемных машин (традиционно их производство в СССР осуществлялось на Украине) машины для Гайского ГОКа были закуплены в дальнем зарубежье (Чехия).

При разработке и освоении производства многоканатных машин в РФ необходимо, в первую очередь, проанализировать и учесть опыт, накопленный за многие десятилетия как в нашей стране как в части разработки, проектирования и изготовления этих машин, так и их эксплуатации. Конечно, при этом необходим учет также и большого зарубежного опыта (Польша, Швеция, Чехия, Германия и др.).

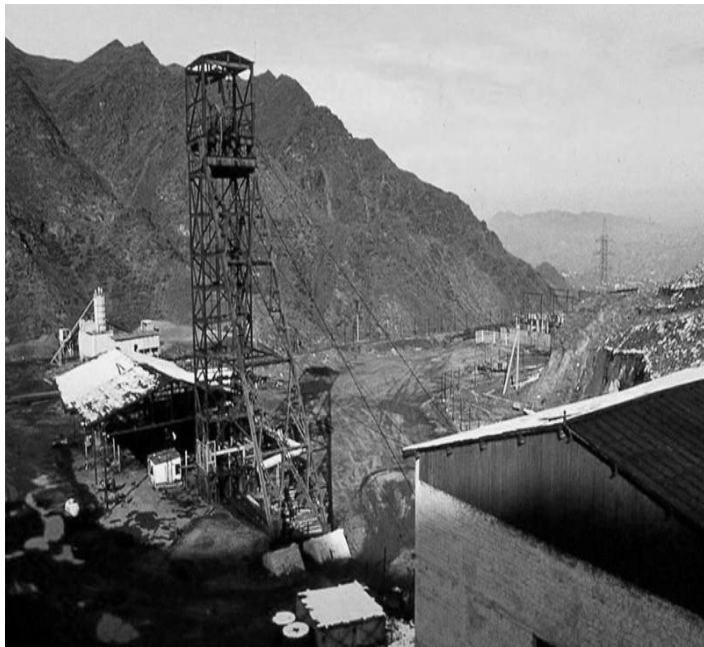
Рисунок 1 – Рычажно-колодочная тормозная система



К основным недостаткам отечественных подъемных многоканатных машин следует отнести несовершенство их рычажно-колодочных тормозных систем (рисунок 1), не отвечающих современным реалиям, а также использование устаревших систем приводов подъемных машин и управления ими. На эти недостатки и следует обратить особое внимание при разработке нового поколения многоканатных машин, учитывая также особенности их наземного расположения и другие значимые факторы.



В настоящее время около 90% всех подъемных машин в РФ работают с превышенными сроками службы (рисунок 2). Для обоснования возможности их дальнейшей эксплуатации, проводимого в рамках комиссионного обследования экспертизы промышленной безопасности на кафедре ГМ УГГУ совместно с ЗАО «Центр диагностики и экспертизы «Цветметналадка» были разработаны «Методические указания по определению остаточного ресурса шахтных



подъемных машин, работающих с превышением нормативного срока эксплуатации», согласованные с Управлением государственного горного и металлургического надзора Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору [3].

Рисунок 2 – Шахтная подъемная установка

По состоянию на 2010 год, согласно выполненным на основе этих указаний расчетам, было установлено, что среднестатистический остаточный ресурс машин не превышает 14 лет.

Отсюда разработка и освоение подъемных машин в РФ является первостепенной и насущной задачей. При этом приоритетным направлением является разработка многоканатных подъемных машин, так как в связи с постоянным углублением горных работ (в настоящее время глубины шахт и рудников достигают 1000-1300 м и более), только машины данного типа могут осуществлять эффективную выдачу полезного ископаемого с таких глубин.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Братченко Б. Ф. Стационарные установки шахт. – М.: Недра, 1997. 440 с.
2. Димашко А. Д. [и др.]. Шахтные электрические лебедки и подъемные машины: справочник. Изд. 4, перераб. и доп. – М.: Недра, 1973. 364 с.
3. Попов Ю. В. Повышение эффективности комплексов многоканатных подъемов с наземным расположением подъемных машин: автореф. ... д-ра техн. наук. Екатеринбург, 2010. 31 с.
4. Тимухин С. А., Попов Ю. В. Методические указания по определению остаточного ресурса шахтных подъемных машин, работающих с превышением расчетного срока эксплуатации. – Екатеринбург: УГГУ, 2007. 24 с.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ВОЗМОЖНОСТИ ФИЛЬТР-ПРЕССА ДЛЯ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ КОНЦЕНТРАТА В УСЛОВИЯХ КОО «ПРЕДПРИЯТИЕ ЭРДЭНЭТ»

Боярских Г. А., Ренчинсамбуу Г.  
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

В течение 10 месяцев отметили расходы фильтрткани (ФТ) и по результатам построили графики распределения расхода в зависимости от времени (см. рисунок 1).

Характеристики расхода ФТ получены по модели нормального распределения, которые показаны на рисунке 2.

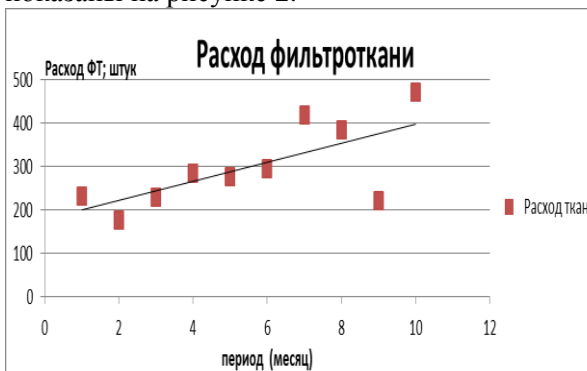


Рисунок 1 – График расхода ФТ от времени

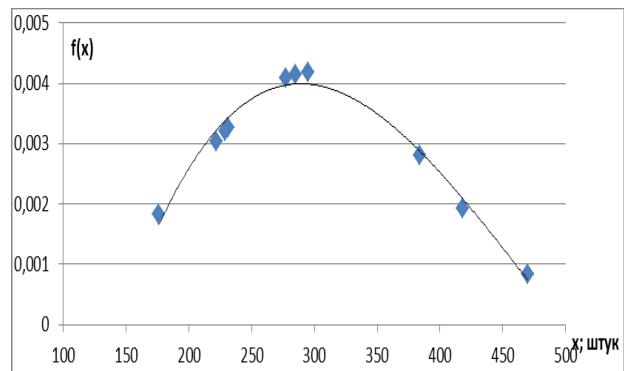


Рисунок 2 – График плотности распределения расхода ФТ

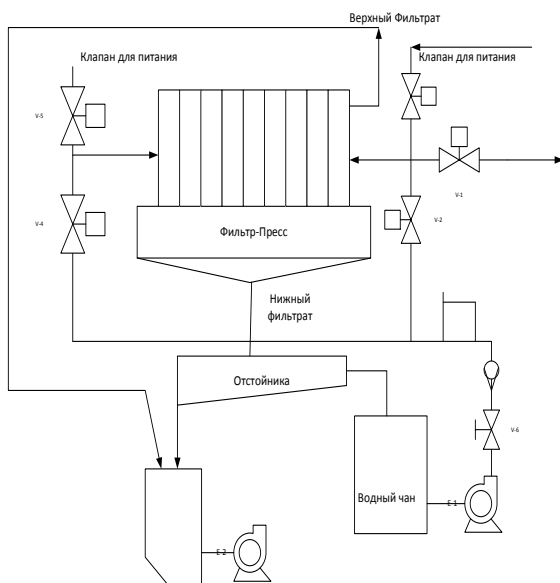


Рисунок 3 – Первая схема промывочной системы для очистки остатков в камере и между ФТ и пластинами с отдельным насосом

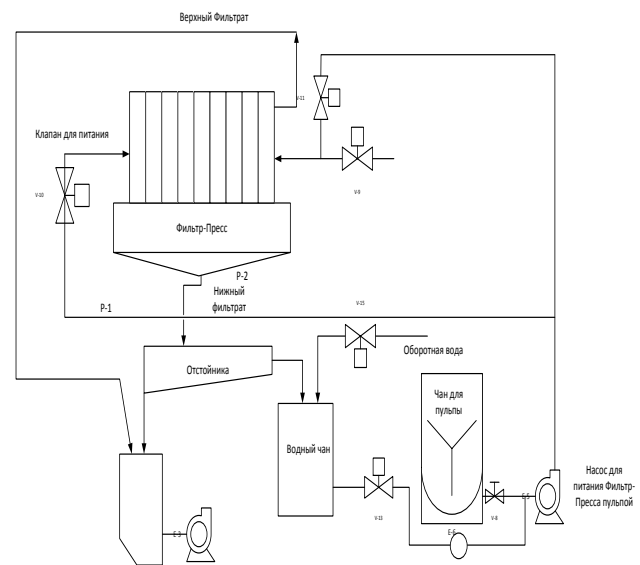


Рисунок 4 – Вторая схема промывочной системы для очистки остатков в камере и между ФТ и пластинами с помощью насоса для питания Фильтр-Пресса пульлой

Задача исследовательской работы заключалась в снижении расхода ФТ, повышении технологических показателей фильтр-пресса и улучшении условий труда рабочих, обслуживающих фильтр-прессы.

Два варианта дополнительных промывочных систем показаны на рисунках 3 и 4, которые обеспечивают увеличение фильтрующей способности ФТ [1-6].

**Оценка эффективности новой системы.** По предварительной оценке результатов анализа можно считать, что использование промывочной системы не вызывает повышения расхода ФТ с увеличением времени эксплуатации, следовательно, за месяц расход ФТ может снизиться до 20 %, то есть за 10 месяцев экономия составит 600 штук ФТ, что оценивается суммой в среднем 54000 \$.

Использование новой системы позволяет снижать влажность кека, выходящего из фильтра, что даёт возможность увеличить до 100 т/ч (20-25 %) производительность по кеку.

В настоящее время промывка ФТ делается вручную 2 раза в смену, а с помощью установки новой системы процесс становится полностью автоматизирован.

**Заключение.** Расход ФТ увеличился в среднем на 50 % в зависимости от продолжительности эксплуатации (см. рисунок 1), что свидетельствует о влиянии старения ФТ. Поэтому необходимо принять решение об исключении забивания каналов фильтрата и более полном использовании ФТ.

Внедрение новой системы промывки обеспечивает возможность снижения расхода ФТ, повышения технологических показателей фильтр-пресса и улучшения условий труда рабочих, обслуживающих фильтр-прессы.

В работе проведен анализ эффективности двух схем промывочной системы для очистки каналов и качественной промывки ФТ. На схемах проведен полный гидравлический расчет и сравнение показателей эффективности рассмотренных схем, из которого видно, что вторая схема имеет больше преимуществ, так как необходимое давление для промывки меньше чем при второй схеме, и меньше затраты. Однако далее необходимо исследовать в условиях лаборатории дополнительные гидравлические параметры, и перерасчитать необходимое давление перед проектированием этих систем на предприятии.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Операторный журнал расходов фильтрткани КОО «Предприятие Эрдэнэт», г. Эрдэнэт, 2010.
2. Жамбалдорж Б. Гидравлика и аэродинамика: учебное пособие. – Улаанбаатар: Изд-во «МГУНТ», 2000. С. 185-226.
3. Дроздова Л. Г. Стационарные машины и установки. – Владивосток: Изд-во «ДВПИ им. В. В. Куйбышева», 2007. С. 58-59.
4. Боярских Г. А. Надежность горных машин и оборудования: учеб.-методическое пособие. – Екатеринбург: УГГУ, 2010. 60 с.
5. Руководство по установке, эксплуатации, хранению и техническому обслуживанию фильтр-пресса КОО «Предприятие Эрдэнэт», Co. ltd. SETCO. 2005. С. 45-51.
6. [http://ru.weirminerals.com/products\\_\\_services/centrifugal\\_slurry\\_pumps/horizontal\\_slurry\\_pumps/warman\\_ah\\_pump.aspx](http://ru.weirminerals.com/products__services/centrifugal_slurry_pumps/horizontal_slurry_pumps/warman_ah_pump.aspx).

## БАРОВЫЕ КАМНЕРЕЗНЫЕ МАШИНЫ

Абдулкаримов М. К.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

На сегодняшний день существует множество различных камнерезных машин, широко применяемых в экономически важных отраслях.

В последнее время большинством предприятий занимающихся добычей природного камня, используются малоотходный и технологичный способ добычи – выпиливание блоков при помощи баровых машин.

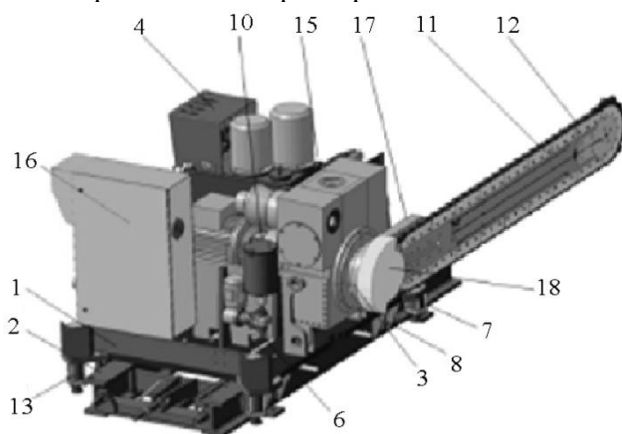
Машина с исполнительным органом в виде бара предназначена для вырезания из массива монолитов или блоков. В баровой машине камнерезной заложен конструктивный принцип угледобывающих врубковых машин. Врубковая машина производит врубы (щели) в массиве пород.

Область применения баровых машин ограничивается месторождениями бескварцевых мраморов, мраморовидных и мраморизованных известняков или пород с небольшим (3-50 %) содержанием кварца. Массивы должны обладать монолитностью, угол падения залежи не должен превышать 30°. Баровые машины не требуют большой длины фронта работы, обеспечивают большую интенсивность разработки по сравнению с канатными пилами и камнерезными машинами с кольцевой фрезой, но их эксплуатация требует более высокого технологического уровня, производства.

Современная баровая машина выполняет вертикальные, продольные, поперечные и горизонтальные подрезные пропилы. В таблице 1 приведены основные технические данные современных баровых камнерезных машин.

На рисунке 1 показана баровая камнерезная машина «Виктория» НПО «Экспериментальный завод» г. Реж. Сегодня машины изготавливаются с двумя схемами резания (с положительным углом пластин – для мягкого и малотрещиноватого камня и с отрицательным углом – для твердого и сильнотрещиноватого камня). Помимо производства баровых машин специалисты завода разрабатывают высокопроизводительный, технологичный и надежный инструмент, режущей цепи, сменные твердосплавные пластинки.

Преимуществом итальянской машины компании «Fantini» является высокая мобильность, широкий спектр выходных параметров блочного камня.



- 1 – каретка; 2 – направляющая; 3 – головка приводная; 4 – пульт управления; 5 – привод подачи;  
 6 – станция смазки; 7 – ролик боковой; 8 – колесо ходовое; 9 – противовес; 10 – конус крепления;  
 11 – бар; 12 – цепь; 13 – гидроцилиндр; 14 – фильтр; 15 – гидростанция; 16 – электрощит;  
 17 – кронштейн бара; 18 – кожух

Рисунок 1 – Камнерезная машина

Таблица 1 – Основные технические данные баровых машин для добычи облицовочного камня

Характеристики	Модель машины, фирма, страна						
	МКБ-6 «Виктория», Россия	70RA/P «Fantini», Италия	ST-VH «Korfmann», Германия	ST-320 «Korfmann», Германия	HR-70 VK «F. Perie», Франция	«SEFAMA», «VAMO», Франция	МКБ-1М ЗИК, Россия
Глубина вруба, мм	3500	1300-8000	2000	3200	3300	1850	2000
Ширина вруба, мм	41±3		40	40	40	28	42
Скорость режущей цепи, м/с	0,33-0,86	0-1,7	0,3-1,4	0,6-1,25	1-3	1-3	0,48-0,84
Скорость рабочей подачи, м/мин.	0,68-1,3		0,02-0,15	0,65-25	0,01-0,1	0,03-0,25	
Установленная мощность, кВт	36	12-61	25,2	39,2	30	11,1	
Масса машины, т	3,9	2-9,6	2,6	4,5		0,75	5,6
Производительность эксплуатационная, м <sup>2</sup>			40	45	40	30	

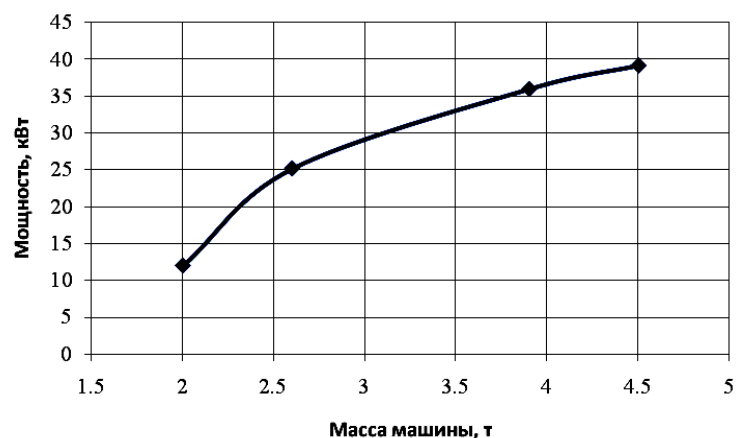


Рисунок 2 – График влияния массы на мощность

На рисунке 2 показана зависимость массы камнерезных баровых машин от мощности, в результате обработки \* получена регрессионная зависимость

$$m = 61 - \frac{96,5}{P},$$

где  $m$  – масса машины, т;  $P$  – мощность, кВт.

\* Норман Р. Дрейпер, Гарри Смит. Прикладной регрессионный анализ. – Изд-во «Вильямс, Диалектика», 2007. 912 с.

## АНАЛИЗ ГИДРОСХЕМЫ БУРОВОЙ УСТАНОВКИ

Бубнов А. В., Исупов Ю. А.

Научный руководитель Лагунова Ю. А., д-р техн. наук, профессор  
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Гидропривод сегодня – это важная составляющая раздела механики. Многие приводы в горных машинах частично или полностью гидрофицированы. Гидропривод в горных машинах и в буровых установках, в частности, дает возможность выполнять поступательное и вращательное движение рабочего органа, возможность плавного бесступенчатого регулирования скорости рабочих элементов машины, предохранения основных узлов буровой установки от перегрузок, позволяет создавать компактные конструкции, показывает хорошие динамические свойства, высокое быстродействие.

Проанализируем с точки зрения вышеупомянутых свойств гидропривода работу принципиальной гидравлической схемы (ГС) установки разведочного бурения УРБ-2А2, предназначенной для бурения геофизических и структурно-поисковых скважин на нефть и газ, разведки месторождений твердых полезных ископаемых, а также для инженерно-геологических изысканий. Принципиальная ГС приведена на рисунке 1. ГС управляет подъемом и опусканием мачты, основным рабочим органом – вращателем и осуществляет горизонтирование станка в процессе бурения.

При увеличении числа оборотов двигателя автомобиля увеличивается число оборотов масляных насосов в ГС, а следовательно, и их производительность, что позволяет увеличить скорость подъема и число оборотов инструмента. Насос 6 шестеренный НШ-10ЕЛ на давление 10 МПа служит для медленного подъема и подачи инструмента на забой, а также для подъема и спуска мачты. От насоса 6 масло через обратные клапаны 9(1) и 9(2) марки Г51-31 на давление 20 МПа поступает в распределитель 11(2) типа Рн203-ФМ14 на давление 32 МПа, который нормально должен быть включен в положение «б» (подъем), и попадает в нижнюю поршневую полость гидроцилиндра механизма подачи 14 с рабочим ходом 2600 мм. Подъем инструмента с помощью насоса 6 происходит только при закрытом вентиле 8(1) – регулятор подачи. Чтобы остановить подъем и оставить инструмент в любом поднятом положении, достаточно вентиль 8(1) полностью открыть и масло от насоса направить на слив. Спуск инструмента под собственной силой тяжести можно осуществить с помощью распределителя 11(2), установив его в нейтральное положение «а».

Для создания нагрузки на забой необходимо распределитель 11(2) переключить в положение «в» (вниз), т.е. масло от насоса направить в верхнюю штоковую полость гидроцилиндра 14. Кроме функции распределителя жидкости, распределитель 11(2) выполняет функции дросселя. Установив рукоятку распределителя в положение, промежуточное между положениями «подъем» и нейтральным, можно регулировать как скорость подъема вращателя, так и скорость опускания его под собственной силой тяжести.

Для предохранения системы от перегрузки в нагнетательной линии от насоса 6 установлен клапан предохранительный 7 типа 10-100-1-11 на давление 10 МПа.

Для подъема или спуска мачты необходимо включить распределитель 11(2) в положение «в» (вниз), открыть вентиль 8(1) и включить распределитель 13 типа Г1оЗВ.64 на давление 20 МПа в положение «в» (подъем) или «б» – спуск.

Насос-мотор 2(2) типа МН250/100М ТУ 2-053-1310-77 на давление 10 МПа служит для подъема инструмента. Масло от насоса 2(2) через фильтр 3(2) типа 3ФГМ32-25К на давление 20 МПа и обратный клапан 4 поступает в распределитель 11(2). От перегрузок насос 2(2) защищен предохранительно-разгрузочным клапаном 5(2), который имеет дистанционное управление вентилем 8(3) – регулятор скорости подъема.

Для остановки вращателя в любом приподнятом положении достаточно открыть вентиль 8(3), и масло от насоса 2(2), через клапан 5(2) без давления пойдет на слив. Распределитель 11(3) обеспечивает дифференциальную работу гидродомкрата подачи. При включении его

в положение «б» обеспечивается нормальная работа гидродомкрата подачи, а при включении в положение «в» - дифференциальная, т.е. поршневая и штоковая полости гидродомкрата соединяются между собой и с подводом. Давление масла при этом в обеих полостях одинаково, но за счет разности площадей поршневой и штоковой полостей гидродомкрата шток выдвигается из цилиндра, а масло, вытесненное из штоковой полости, перетекает в поршневую полость вместе с маслом, поступающим от насоса, что обеспечивает быстрый подъем вращателя со скоростью в 2,2 раза превышающей скорость при нормальной работе гидродомкрата. Опускание вращателя под действием собственной силы тяжести при дифференциальной работе гидродомкрата происходит также с большей скоростью, чем при нормальной его работе.

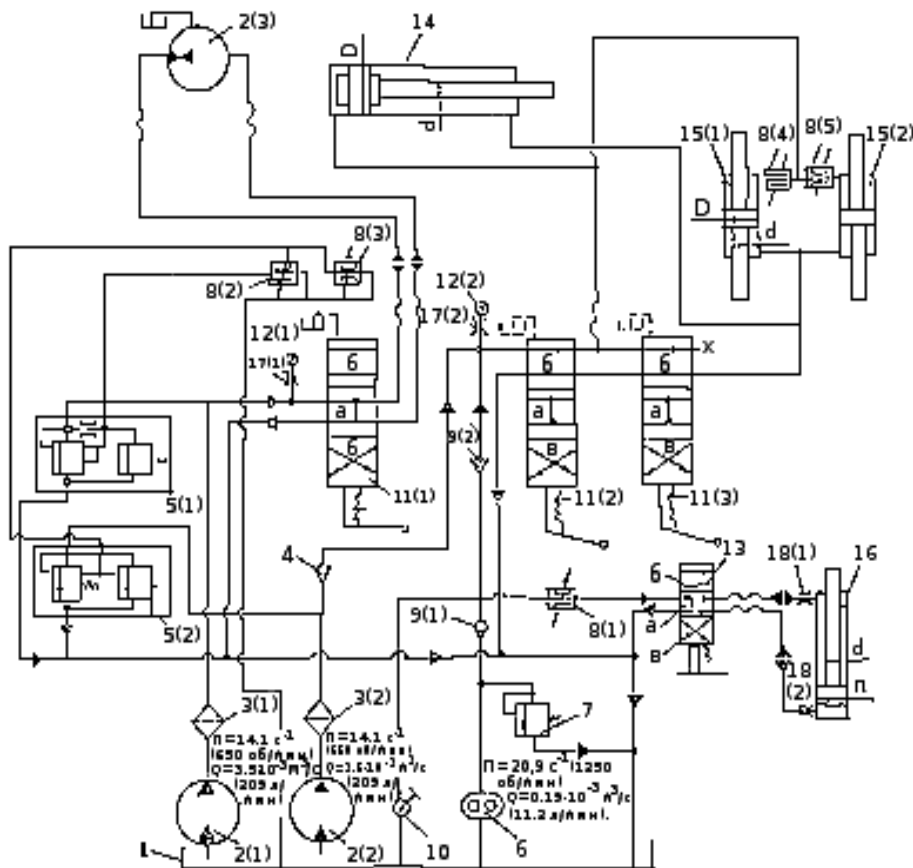


Рисунок 1 – Гидравлическая схема буровой установки УРБ-2А2

От насоса 2(1) поток масла через фильтр 3(1) поступает в распределитель 11(1) с ручным управлением, при включении которого в положение «б» или «в» масло подается к гидромотору вращателя и обеспечивает правое или левое вращение шпинделя вращателя. При включении распределителя 11(1) в положение «а» масло идет на слив в масляный бак. Для разгрузки шасси автомобиля от усилий, возникающих во время бурения и при подъеме инструмента, а также для удобства в эксплуатации, буровая установка снабжена гидравлическими опорными домкратами 15(1) и 15(2). Верхние полости опорных домкратов соединены с нижней полостью гидроцилиндра 14 трубопроводами, в которые врезаны вентили 8(4) и 8(5). Нижние полости опорных домкратов соединены между собой и с верхней полостью гидроцилиндра. Созданием давления в поршневой полости гидроцилиндра 14 при открытых вентилях 8(4) и 8(5) обеспечивается выдвигание опорных домкратов на необходимую величину, после чего вентили должны быть закрыты. Наличие отдельного управления опорными домкратами позволяет производить корректировку вертикального положения мачты. Для снятия установки с опорных домкратов необходимо открыть оба вентиля и создать давление в штоковой полости гидроцилиндра 14.

## ПОИСК СТРУКТУРЫ МАЧТЫ БУРОВОГО СТАНКА

Кабанов И. Н., Савинова Н. В.  
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Мачты буровых станков являются одним из важнейших узлов этих машин, они предназначены для обеспечения совместного функционирования механизмов вращения и подачи бурового става, а также вспомогательных устройств. Современные конструкции мачт представляют собой пространственные фермы, как правило, четырехгранные.

При проектировании мачт необходимо удовлетворить требования прочности, устойчивости, надежности, ремонтпригодности, монтажеспособности, сохраняемости и т.д. при минимальной стоимости. Все перечисленные требования находятся в тесной связи с массой металлоконструкции мачты, поэтому поиск структуры мачты минимальной металлоемкости имеет первостепенное значение. Снижение массы достигает комплексный эффект: уменьшается расход материалов, улучшаются и монтажные свойства и транспортабельность, снижаются эксплуатационные расходы и затраты по амортизации\* [1].

В представляемой работе выполнен анализ вариантов структур металлоконструкции мачт при равных граничных условиях. На рисунке 1 представлены варианты рассмотренных структур. Габариты ферменных конструкций одинаковые для всех вариантов, поперечное сечение мачты  $1200 \times 1200$  мм; равным принят и шаг крепления поперечных элементов и раскосов – 1900 мм; закрепляется модель по четырем узлам. Расчеты выполнялись для усилия подачи 350 кН. Варианты компоновки ферменной конструкции представлены на рисунке 1.

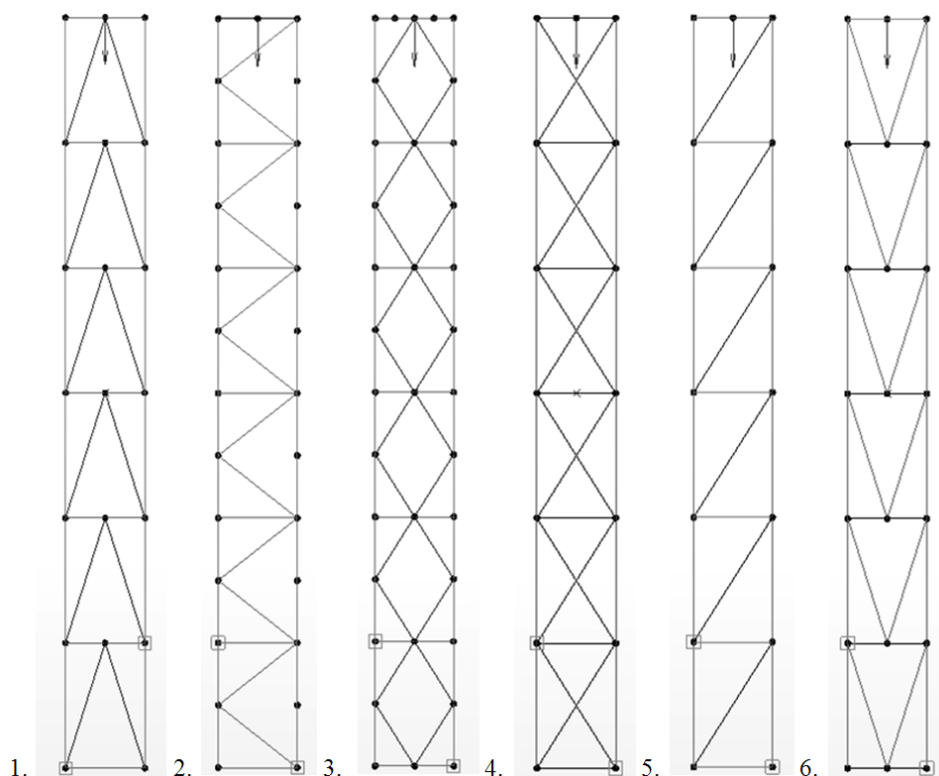


Рисунок 1 – Варианты компоновки ферменной конструкции

\* Поляков Г. Д., Булгаков Е. С., Шумов Л. Л. Проектирование, расчёт и эксплуатация буровых установок. – М.: Недра, 1983.



Для предпроцессорной подготовки и выполнения расчетов использовалась программа инженерного анализа APMWinMachine, а именно расчетный модуль APM Structure 3D. При создании модели формы использовались одномерные конечные элементы – балки.

Анализируя напряженно-деформированное состояние каждого варианта мачты, можно выявить наилучшую структуру, и обозначить плюсы и минусы того или иного варианта.

Для удобства анализа основные параметры расчетов сведены в таблицу 1. Поперечные сечения вариантов конструкций подобраны таким образом, что максимальные напряжения в конструкции не превышают 170 МПа – допустимого напряжения для Ст3 при работе на сжатие.

Таблица 1 – Результаты структурного анализа

Наименование структуры	Масса конструкции, кг	Максимальные напряжения, МПа	Максимальные перемещения, мм	Устойчивость
Мачта № 1а	817,6	164,3	13,4	4,37
Мачта № 1б	448	164,3	13,3	2,62
Мачта № 2	593,4	164,2	12,2	1,87
Мачта № 3	632,2	161,6	10,2	2,16
Мачта № 4	627,7	165,5	12,5	1,58
Мачта № 5	627,5	164,5	24,8	1,61
Мачта № 6	569,6	167,7	13,5	1,89

Отметим, что для демонстрации изменения массы без ущерба для несущей способности конструкции структура мачты 1 была рассчитана в двух случаях. В первом, все раскосы выбраны равного сечения; во втором раскосы в верхнем пролете имеют большее сечение в сравнении с другими.

Выводы.

1. Структура мачты № 1а обладает наибольшей массой, но и самым высоким коэффициентом устойчивости.

2. Структура мачты № 1б имеет наименьшую массу и высокий коэффициент устойчивости.

3. В настоящее время при создании мачт чаще всего используют структуру мачты № 5, при прочих равных результатах при максимальном усилии подачи в конструкции возникают перемещения, вдвое превышающие перемещения других вариантов.

4. В большинстве вариантов напряжения распределились не равномерно, это говорит о необходимости использования в конструкции большего разнообразия форм и размеров поперечных сечений, что не всегда целесообразно с технологической точки зрения.

5. Из рассмотренных структур наилучшей является мачта № 2 и 1б.

6. Выбор структуры сильно зависит от места приложения основных нагрузок.

Безусловно, нагружение мачт буровых установок не так однозначно, как показано, поэтому дальнейшее развитие работы в более подробном описании нагружения конструкции, в учете не только рабочих нагрузок, но и нагрузок при транспортировке и подъеме мачты. В будущем хотелось бы рассмотреть влияние на напряженно-деформированное состояние конструктивных элементов мачты.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ГИДРОПРИЖАТИЯ В КОНУСНОЙ ДРОБИЛКЕ

Калянов А. Е.

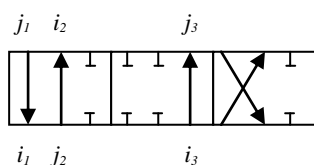
Научный руководитель Лагунова Ю. А., д-р техн. наук, профессор  
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Расчет схемы гидропривода сводится к определению переменных давлений, расходов (подач), скоростей и положений подвижных частей в точках соединения гидравлических элементов – узлах системы. При этом один и тот же узел может быть одновременно выходом одного элемента и входом другого. Каждый элемент схемы кроме золотникового распределителя можно представить трехузловым элементом  $i = j = k$ , связывающим основные элементы схемы между собой. В принципиальную гидравлическую схему системы прижатия дробильной чаши конусной дробилки входят такие элементы как гидропневмоаккумулятор:  $i$  – вход (линия подвода рабочей жидкости);  $j$  – выход (газовая полость);  $k$  – узел перемещения поршня (мембраны); насос; гидроцилиндр; трубопровод; дроссель; обратный клапан; гидрозамок и различные типы гидрораспределителей.

В соответствии с приведенной идентификацией, каждый элемент  $e_i$  схемы относится к определенному типу с соответствующими ему узлами  $i = j = k$ . Тогда структуру схемы можно записать матрицей:

$$S = \begin{pmatrix} e_1 & i_1 & j_1 & k_1 \\ e_2 & i_2 & j_2 & k_2 \\ e_3 & i_3 & j_3 & k_3 \\ e_4 & i_4 & j_4 & k_4 \\ e_5 & i_5 & j_5 & k_5 \\ e_6 & i_6 & j_6 & k_6 \\ e_7 & i_7 & j_7 & k_7 \end{pmatrix}$$

Золотниковый распределитель – это единственный элемент в гидросхеме, который не вписывается в общую матрицу, так как число примыкающих к нему узлов может быть больше трех. Золотник – это средство для изменения структуры гидросхемы, так как при перемещении золотника из одной позиции в другую происходит перераспределение потоков рабочей жидкости. Рассмотрим распределение как совокупность местных сопротивлений – возможных соединений узлов золотника, каждое из которых имеет два узла (вход и выход).



Тогда получим матрицу:

$$U = \begin{pmatrix} i_1 & j_1 \\ i_2 & j_2 \\ \dots & \dots \\ i_L & j_L \end{pmatrix}$$

где  $i_1, j_1, \dots, i_L, j_L$  – номера входа и выхода соединений от 1 до  $L$  распределителя.

С помощью проведенного моделирования установлено влияние изменения давления в гидроаккумуляторе. Давление определяется силами: диссипативными, трения. Баланс этих сил оказывает влияние на скорость прижатия дробильной чаши. Важным показателем при этом является коэффициент зарядки гидропневмоаккумулятора.

Расчет объема гидропневмоаккумулятора осуществляется по методике инженерного расчета и корректируется исходя из конструктивных соображений.

## ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ ЗАБОЯ ПРИ ШНЕКОВОМ БУРЕНИИ

Ковязин Р. А.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Эффективность шнекового бурения можно оценивать по следующим критериям: удельная мощность (кВт на кубометр выбуренной породы, кВт на пройденный метр скважины); удельная энергоёмкость (кДж на кубометр выбуренной породы, кДж на пройденный метр скважины); скорость бурения (метров скважины за единицу времени); себестоимость бурения [1-5].

Стоимость и парк применяемого при бурении оборудования зависят от требуемой мощности, которую необходимо использовать при бурении, а мощность зависит от условий и параметров режима бурения. Также от требуемой мощности зависит количество затрачиваемой энергии (электричество, топливо).

Энергия при шнековом бурении расходуется на следующие технологические операции: разрушение породы на забое; вынос породы, удаление шлама; спуско-подъемные операции (СПО); вспомогательные операции; крепление стенок скважины.

При бурении шнеком проходка скважины может осуществляться непрерывно или циклически (непрерывное или рейсовое бурение). При непрерывном бурении шнек непрерывно выносит шлам и наращивается по мере углубления скважины. Шлам выносится на поверхность

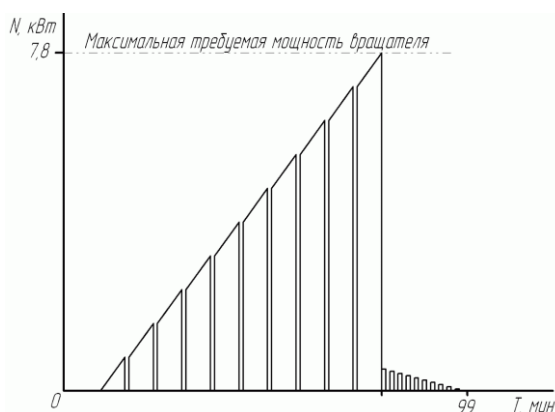


Рисунок 1 – График распределения затрат мощности привода по времени при непрерывном бурении

шнековым транспортером за счет совместной работы скольжения о полку шнека и трения о стенки скважины. По мере увеличения глубины скважины прямо пропорционально растет и требуемая мощность. Её рост обусловлен в основном увеличением мощности на транспортирование породы. Затраты мощности в течение всего времени бурения скважины указаны в графике (рисунок 1).

При рейсовом бурении шнек углубляет скважину на определенную глубину, а затем вся колонна бурового инструмента поднимается на поверхность вместе с разбуренной породой, лежащей на витках шнека или в накопителе (стакане). Затем шнек очищается от породы и инструмент опускается обратно в скважину. Цикл повторяется.

Проведены расчеты для непрерывной и рейсовой проходки скважины при следующих исходных данных: глубина скважины 20 м; частота вращения 180 об/мин.; диаметр шнека (внеш.) 180 мм; диаметр шнека (внутр.) 73 мм; угол подъема витка 12°; угол траектории частицы 6°30'; плотность породы 0,002 кг/см<sup>3</sup>; коэффициент заполнения шнека 0,3; скорость бурения 20 м/ч.

Результаты расчета – в таблице 1 и на рисунке 2.

Из анализа полученных результатов можно сделать вывод: при проходке скважины непрерывным способом затрачивается меньше времени на бурение, но необходима большая мощность. При рейсовом способе бурения время увеличивается, но мощность и удельные энергозатраты уменьшаются.

Рейсовое бурение имеет ограниченную область применения, т.к. необходимо, чтобы стенки скважины оставались устойчивыми при поднятом инструменте в течение длительного промежутка времени. Применение для крепления стенок скважины обсадных труб значительно усложняет процесс бурения и увеличивает энергозатраты.

Таблица 1 – Сравнительная таблица основных показателей бурения

Показатели	Непрерывное бурение	Рейсовое бурение
Время на бурение, ч	1,65	4
Удельные энергозатраты, кДж/м	700	90
Затраченная энергия, кДж	14000	2200
Удельная мощность, кВт/м	0,39	0,08
Требуемая мощность привода, кВт	7,8	1,25

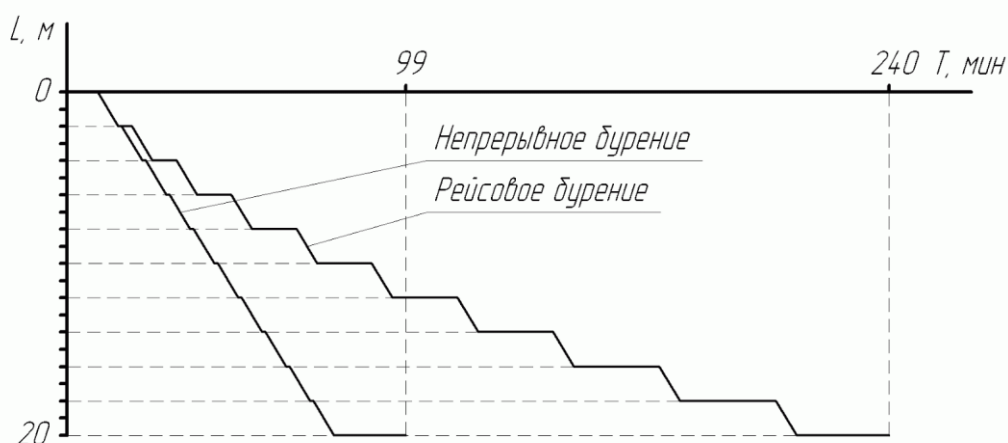


Рисунок 2 – График проходки скважины

Преимуществом рейсового бурения, помимо энергоэффективности, является возможность уменьшения веса перевозимого инструмента. В идеале необходим лишь один пилотный шнек, по длине не менее глубины рейса, а остальная часть буровой колонны может собираться из штанг, чья масса значительно ниже. При большой глубине скважины для сохранения её геометрии можно в центре колонны установить еще один шнек, который будет выполнять роль центриатора. Недостатком рейсового бурения является его относительно низкая производительность, что потребует увеличения парка станков. Уменьшение мощности каждого станка приведет к снижению их стоимости по сравнению со станками для непрерывного бурения.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ребрик Б. М. Бурение инженерно-геологических скважин: справочник. – 2-е изд. – М.: Недра, 1990. 336 с.
2. Ребрик В. М. Практическая механика в разведочном бурении. – М.: Недра, 1982. 319 с.
3. Танов Е. И., Площадный В. Я. Шнековый буровой инструмент: справочник. – М.: Недра, 1985. 109 с.
4. Лапин Н. А. Теоретические и экспериментальные исследования процесса шнекового бурения скважин и методика расчета геометрических параметров и режимов работы вертикальных шнековых транспортеров: дис. ... канд. техн. наук. М., 1967.
5. Башкатов Д. Н., Олоновский Ю. А. Вращательное шнековое бурение геологоразведочных скважин. – М.: Недра, 1986.

## ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ

Кондрашков И. Т., Савинова Н. В.  
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Сегодняшние учёные предпочли математику экспериментам, и пробираясь от уравнения к уравнению, они, в конечном итоге, возводят структуру, которая не имеет никакого отношения к реальности

Никола Тесла

На сегодняшний день довольно остро стоит проблема развития промышленного потенциала страны и внедрения инноваций. Зачастую одних теоретических представлений о конкретной проблеме бывает недостаточно, а проводить дорогостоящие эксперименты, используя опытные образцы, является нерациональным. Неоценимы становятся математические эксперименты.

Непосредственно ошибки допускаются при формировании конструктивной структуры металлоконструкции технического объекта, последствия могут быть самыми различными, в худшем случае – выход техники из эксплуатации на раннем этапе. Также неправильная компоновка элементов металлоконструкций затрудняет обслуживание и ремонт.

Поиск структуры конструкции с учётом прочностного анализа, позволяет выявить сильные и слабые стороны с последующим изменением структуры в нужном для нас направлении, не нарушая прочностных характеристик модели.

Последовательность формирования конструктивной структуры металлоконструкции (таблица 1), рассмотрим на конкретном примере. В работе выполнен процесс проектирования рамы для размещения элементов оборудования и выявление зон для размещения конструктивных элементов (отверстий для пропускания электрожгутов, гидро и пневмосистем). Для получения напряженно-деформированного состояния использовался модуль конечно-элементного анализа APMStructure3D.

Поясним некоторые процедуры. Создание «контрольных точек» является отправным пунктом при поиске структуры металлоконструкции, последующих построений виртуальных моделей, также они отражают предполагаемый объём и ориентацию модели в пространстве.

При работе со стержневой моделью решается ряд задач. За малое время, при многократном пересчете, подбираются поперечные сечения наилучшие по форме и ориентации в пространстве. Нагружение модели с одномерными элементами более простое.

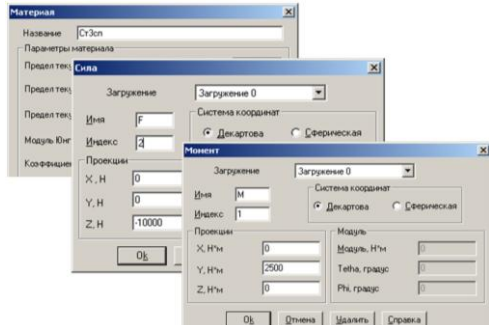
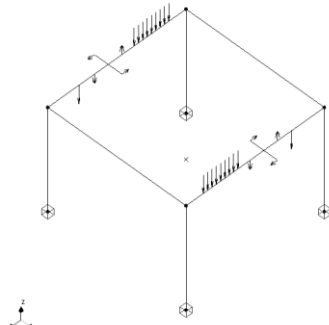
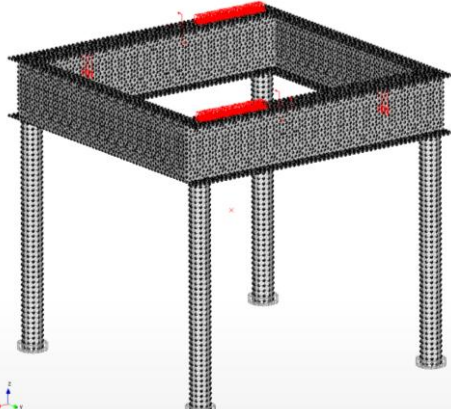

Шаг дискретизации или разбиения подбирается с учетом размеров желаемых конструктивных элементов. Постоянство шага разбиения уменьшит погрешность расчёта.

Выбор материала конструкции может происходить на любой стадии формирования структуры и на уровне постановки задачи и при анализе напряженно - деформированного состояния.

Модель нагружения создается для каждого типа модели формы. В работе рассматривалось сочетание нагрузок различного характера действия: равномерно распределённая нагрузка, изгибающий момент, сила. Сосредоточенные нагрузки для стержневой модели, в пластинчатой правильной представлять распределёнными по длине. Распределённые нагрузки по длине для стержня, для пластины становятся распределёнными по площади.

Для анализа карт напряжений по минимальным значениям задаётся шкалой напряжений в конкретных значениях, например, в первом приближении структуры максимальное значение шкалы можно принять 20 МПа. Зоны с большим напряжением окрасятся в один цвет, остальные будут легко выделить и удалить. Таким образом, можно будет «ослабить» объект конструктивными элементами, не нанося вреда прочности и устойчивости. Такие участки структуры металлоконструкции можно использовать с максимальной отдачей, размещая в них элементы гидравлических и пневматических систем, электронику и автоматику.

Таблица 1 – Последовательности процедур формирования конструктивной структуры

Шаг	Действия	Иллюстрация
1	<p>Постановка задачи.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– определение граничных условий.</li> <li>Габаритные размеры длина рамы, мм;</li> <li>ширина рамы, мм, высота</li> <li>расположения рамы от опор, мм;</li> <li>– выбор материала конструкции;</li> <li>– расчет действующих нагрузок</li> </ul>	
2	<p>Формирование первичной расчетной модели:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– создание «контрольных точек»;</li> <li>– отрисовка проволочной (стержневой) модели;</li> <li>– предварительный выбор поперечных сечений конструкции;</li> <li>– задание нагрузок; опор; материала.</li> </ul> <p>Расчет, оценка результатов, доработка.</p>	
3	<p>Создание, на базе «контрольных точек» шага 2, пластинчатой конечно-элементной модели:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– выбор шага дискретизации;</li> <li>– отрисовка пластинчатой структуры;</li> <li>– задание толщин элементов, по результатам расчета шага 2;</li> <li>– задание нагрузок; опор.</li> </ul> <p>Расчет, оценка результатов, доработка.</p>	
4	<p>Выявление зон для размещения конструктивных элементов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ карт напряжений по минимальным значениям;</li> <li>– удаление ненагруженных пластин;</li> <li>– ввод в модель формы конструктивных элементов.</li> </ul> <p>Расчет, анализ, доработка.</p>	
5	Формирование технической документации	

В итоге можно получить оптимальную структуру металлоконструкции, которая отвечает всем критериям работоспособности, оснащенную необходимыми конструктивными элементами, без излишней массы, удобную в обслуживании и ремонте.

## ГИДРОФИЦИРОВАННЫЙ МЕХАНИЗМ НАПОРА КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

Куликов К. О., Аблаев И. В., Суслов Н. М.  
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

**Напорный механизм.** Напорный механизм служит для подъема и опускания ковша и обеспечения напорного усилия. Механизм состоит из подъемной лебедки и канатов. Лебедка приводится в движение двумя электродвигателями, соединенными с редуктором двумя упругими муфтами. На выходные валы редуктора насажены барабаны, на которых крепятся подъемные канаты.

**Существуют напорные механизмы** – зубчато-реечные, канатные, гидравлические.

Достоинством зубчато-реечных механизмов является жесткость конструкции, обеспечение требуемых напорных усилий по всей ширине ковша. Недостатки: Открытая передача (подвержен воздействию внешних факторов: пыль, грязь, влага), что является негативным для работы механизма.

Канатный напорный механизмы в существующих конструкциях имеют приводную лебедку и напорный механизм размещенный на платформе экскаватора, что усложняет конструкцию.

Гидравлический напорный механизм используется на полностью гидрофицированных экскаваторах.

В нашем случае предлагается использовать гидрофицированный напорный механизм оригинальной конструкции на традиционной схеме традиционного карьерного экскаватора

**Поворотный гидродвигатель** – гидравлическая машина, предназначенная для преобразования гидравлической энергии в механическую и для сообщения рабочему органу возвратно-вращательного движения на угол, меньший  $360^\circ$ .

Максимальный угол поворота гидродвигателя зависит от числа пластин следующим образом: для однопластинчатого он составляет порядка  $270^\circ$

Поворотный гидроцилиндр (рисунок 1) состоит из корпуса 1, и поворотного ротора, представляющего собой втулку 2, несущую пластину (лопасть) 3. Кольцевая полость между внутренней поверхностью цилиндра и ротором разделена уплотнительной перемычкой 4 с пружинящим поджимом к ротору уплотнительного элемента 5.

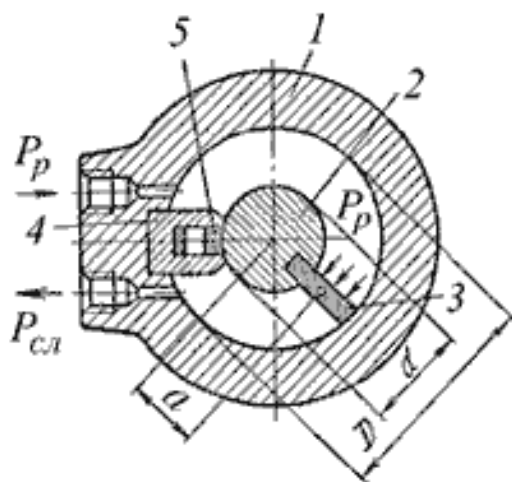


Рисунок 1 – Поворотный гидроцилиндр

Расчетный крутящий момент  $M$  на валу рассматриваемого гидроцилиндра с одной пластиной равен произведению силы  $R$  на плечо  $a$  приложения этой силы (расстояние от оси вращения до центра давления рабочей площади пластины)

$$M = Ra.$$

Усилие  $R$  определяется произведением действующего на лопасть перепада давлений на рабочую площадь пластины  $F$

$$R = \Delta PF = (P_p - P_{cl}) F,$$

рабочая площадь пластины, где  $b$  – ширина пластины

$$F = \frac{D-d}{2} b.$$

Плечо приложения силы

$$a = \frac{D}{2} - \frac{D-d}{4} = \frac{D+d}{4}.$$

Угловая скорость  $\omega$  вращения вала

$$\omega = \frac{8Q}{(D^2 - d^2)b}.$$

Фактические момент  $M_f$  и угловая скорость  $\omega_f$  будут меньше расчетных в связи с наличием потерь трения и утечек жидкости, характеризуемых механическим  $\eta_m$  и объемным  $\eta_v$  КПД гидроцилиндра:

$$M = \frac{\Delta P b}{8} (D^2 - d^2) \eta_m,$$

$$\omega = \frac{8Q}{(D^2 - d^2)b} \eta_v.$$

Основными преимуществами такой замены являются:

1. Бесступенчатое регулирование скорости движения выходного звена гидропередачи и обеспечение малых устойчивых скоростей. Минимальная угловая скорость вращения вала гидромотора может составлять 2...3 об/мин.

2. Небольшие габариты и масса. Время разгона, благодаря меньшему моменту инерции вращающихся частей не превышает долей секунды в отличие от электродвигателей, у которых время разгона может составлять несколько секунд.

3. Частое реверсирование движения выходного звена гидропередачи. Например, частота реверсирования вала гидромотора может быть доведена до 500, а штока поршня гидроцилиндра даже до 1000 реверсов в минуту. В этом отношении гидропривод уступает лишь пневматическим инструментам, у которых число реверсов может достигать 1500 в минуту.

4. Большое быстродействие и наибольшая механическая и скоростная жесткость. Механическая жесткость – величина относительного позиционного изменения положения выходного звена под воздействием изменяющейся внешней нагрузки. Скоростная жесткость – относительное изменение скорости выходного звена при изменении приложенной к нему нагрузки.

5. Автоматическая защита гидросистем от вредного воздействия перегрузок благодаря наличию предохранительных клапанов.

6. Хорошие условия смазки трущихся деталей и элементов гидроаппаратов, что обеспечивает их надежность и долговечность. Так, например, при правильной эксплуатации насосов и гидромоторов срок их службы доведен в настоящее время до 5...10 тыс. ч работы под нагрузкой. Гидроаппаратура может не ремонтироваться в течение долгого времени (до 10...15 лет).

7. Простота преобразования вращательного движения в возвратно-поступательное и возвратно-поворотные без применения каких-либо механических передач, подверженных износу.



## ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТСПОСОБНОСТИ МАСЛОСТАНЦИЙ ДРОБИЛЬНЫХ МАШИН ПРИ ПОНИЖЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

Майоров С. А.<sup>1</sup>, Долганов А. Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

<sup>2</sup>ООО дивизион «Горное оборудование» ОАО «Уралмашзавод»

Маслостанция или установка смазочная – неотъемлемый орган, обеспечивающий работоспособность дробилок в период их эксплуатации. Она отвечает за непрерывную подачу смазки к узлам трения, что препятствует нагреву и выходу из строя основных элементов машины.

На практике, имеет место, работа дробильных машин, в условиях пониженной температуры в зимний период, на открытом воздухе или же в не отапливаемом помещении, что негативно сказывается на маслосистеме и самой дробилке в целом. Подобные случаи повышают вероятность возникновения механических повреждений.

Целью работы является предложение рациональных способов решения проблемы охлаждения маслосистемы.

Маслостанция (рисунок 1) представляет собой маслозаполненную емкость с системой постоянной циркуляции жидкости. Основная проблема любого масла в том, что оно имеет свойство загустевать или же замерзать на морозе. В ряде случаев повышение скорости потока способно решить эту проблему. Но при температуре ниже  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , смазка загустевает практически моментально, и мощности насоса, становится не достаточно, чтобы протолкнуть столб консистента по трубам. Следует учесть, что из-за частиц застывшей влаги загустевшее масло представляет собой абразив, что негативно сказывается на работе гидрооборудования.

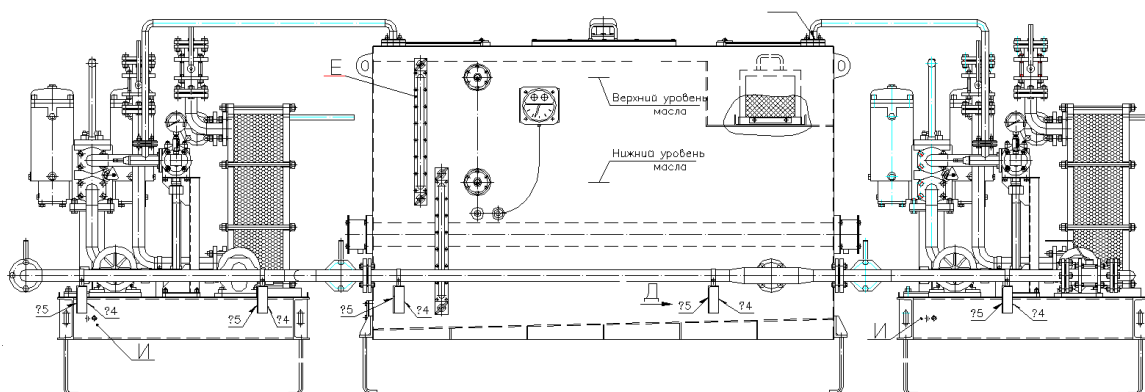


Рисунок 1 – Маслостанция

Выбор более хладостойкого масла, способен решить эту проблему. Но для замены смазочного материала, необходимо полностью промыть и обезжирить систему, что занимает большое количество времени и заставляет дробилку простаивать.

С другой стороны использование всесезонного масла, способного сохранять свои свойства при температуре от  $+40$  до  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , полностью исключило бы возможность загустевания смазки, но экономически, это не целесообразно, поскольку цена столь неприхотливого вещества, весьма высока.

В связи со всеми вышеперечисленными нюансами, предлагаются следующие варианты.

1. Термические обогреватели (термоматы) (рисунок 2). Получили широкое применение в отечественной промышленности, поскольку в наших климатических условиях, этот вопрос становится все более и более актуальным. Термомат представляет собой, плоский, гибкий нагревательный элемент, изолирующий поверхность бака, от окружающей среды по принципу термоса и способный поднять температуру поверхности соприкосновения на  $20-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Термоматы просты в установке и могут работать с поверхностью практически любой сложности. Схема установки обогревателя на маслостанцию дробилки представлена на рисунке 3.



Рисунок 2 – Термомат

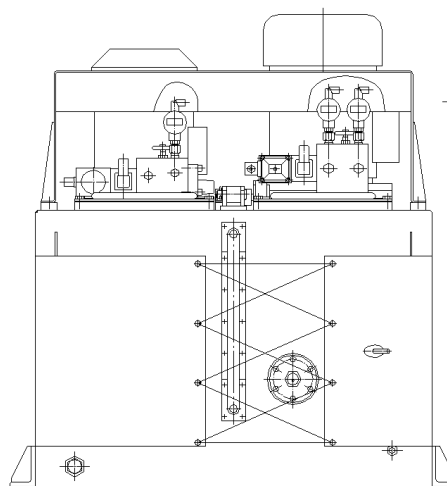


Рисунок 3 – Установка термомата

2. Ветрозащита. Часто фактором, усугубляющим температурные условия, является ветер. Минимизировать его воздействие поможет установка ветряных экранов, или попросту заграждений, тормозящих поток воздуха, сопутствующий охлаждению установки (рисунок 4).

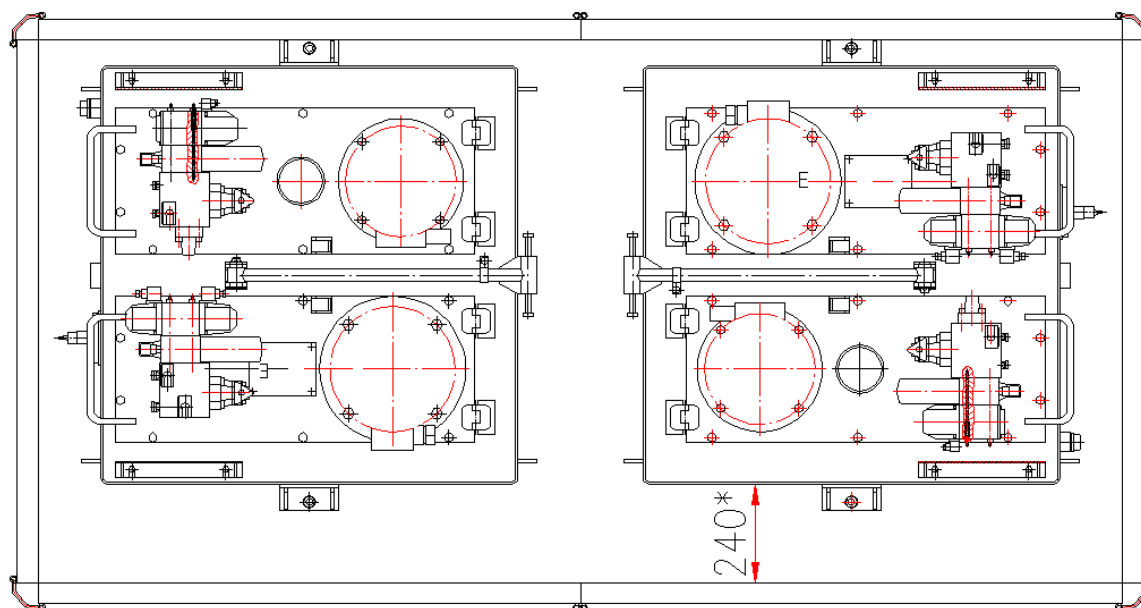


Рисунок 4 – Ветрозащита

3. Использование линии теплообмена для обогрева. В том случае, если в систему встроен жидкостный теплообменник, его можно использовать как нагреватель, предварительно свершившись с инструкцией по эксплуатации, дабы не навредить оборудованию. Встраивание в систему дополнительного теплообменника или обогревателя также может принести положительный результат.

Вывод: Дробильное оборудование, как ни одно другое нуждается в поддержании работоспособности в холодный период года, поскольку его остановка влечет за собой простой всей фабрики. Усилив маслостанцию – сердце дробилки, сделав ее менее уязвимой к холоду, мы делаем устойчивее к погодным перепадам все производство в целом.

## РАДИАЛЬНО-ВИХРЕВЫЕ ПРЯМОТОЧНЫЕ ВЕНТИЛЯТОРЫ МЕСТНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ. ОСОБЕННОСТИ ИДЕАЛЬНОЙ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Макаров Н. В., Горбунов С. А.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Динамика технологического процесса, происходящего в очистной выработке, приводит к необходимости увеличения диапазона развиваемого давления и глубины экономичного давления ВМП [1] для обеспечения аэродинамической изоляции очистной выработки от выработанного пространства с максимальной энергоэффективностью. Это требует разработки ВМП повышенной аэродинамической нагруженности и адаптивности.

Поскольку в настоящее время отсутствуют ВМП на требуемые вентиляционные режимы, задача заключается в разработке теоретических основ расчета и научного обоснования технических решений создания данного типа вентиляторов.

Применительно к ВМП наиболее перспективным способом повышения аэродинамической нагруженности, адаптивности и экономичности является вихревое управление обтеканием лопаток рабочего колеса. В зависимости от параметров управляющего потока достижимо такое воздействие на пограничный слой, при котором наблюдается практически только снижение потерь давления на трение и, как результат, повышение к.п.д., либо управление им с влиянием на ядро потока для целенаправленного увеличения угла выхода потока, изменения циркуляционного течения с целью повышения аэродинамической нагруженности вентилятора.

Конструктивные особенности вентиляторов местного проветривания (ВМП) позволяют реализовывать в них прямоточную радиально-вихревую аэродинамическую схему с энергетическим управлением течением в межлопаточных каналах [1] рабочих колес с применением интегрированных вихреисточников (рисунок 1) с использованием высокоэнергетического закрученного управляющего потока без применения дополнительных устройств подвода энергии, что существенно повышает эффективность их взаимодействия с основным потоком, при этом обеспечивая достаточную простоту и надежность конструктивного исполнения вихревых камер колеса.

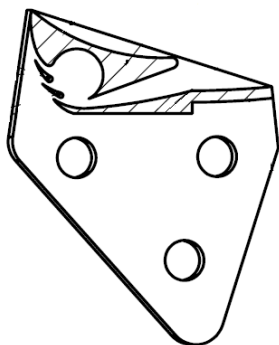
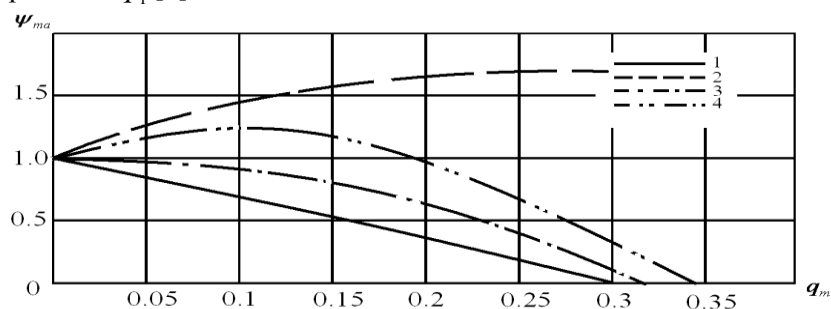


Рисунок 1 – Хвостовик лопатки рабочего колеса радиально-вихревого прямоточного вентилятора местного проветривания

Полости профильных лопаток вращающегося колеса ВМП вентилятора, выполненных в хвостовой части в форме вихревых камер, можно рассматривать как устройство передачи энергии управляющему потоку, являющемуся в исходном состоянии частью основного потока, поскольку их совокупность представляет собой интегрированную внутрь рабочего колеса ступень компрессора, геометрические параметры которого обеспечивают требуемые энергетические характеристики управляющего потока вихреисточника.

Удельная идеальная аэродинамическая характеристика вращающейся круговой решетки аэрогазодинамических профилей с вихревыми камерами приведена на рисунке 2. Из данного рисунка видно, что идеальная аэродинамическая характеристика вращающейся круговой решетки аэрогазодинамических профилей имеет существенно большую наполненность по давлению в сравнении с аэродинамической характеристики вращающейся круговой решетки классических профилей. Целенаправленный выбор геометрических параметров круговой решетки профилей и вихревых устройств позволяет в широком диапазоне изменять ее максимальный коэффициент теоретического давления и, что принципиально важно,

функциональную зависимость прироста коэффициента теоретического давления  $\Psi_{та}$  от коэффициента расхода  $q_T$  [2].



1 – классический теоретический профиль; 2 – профиль с положительным вихреисточником; 3 – профиль с отрицательным вихреисточником; 4 – профиль со знакопеременным вихреисточником

Рисунок 2 – Аэродинамическая характеристика вращающейся круговой решетки профилей с вихреисточником

Проведенные расчеты позволили спроектировать прямоточную радиально-вихревую аэродинамическую схему, разработать чертежи и изготовить модель вентилятора ВРВП-6 (рисунки 2, 3). Результаты его аэродинамических испытаний в сравнении с вентиляторами ВМЭ-6 приведены в таблице 1.

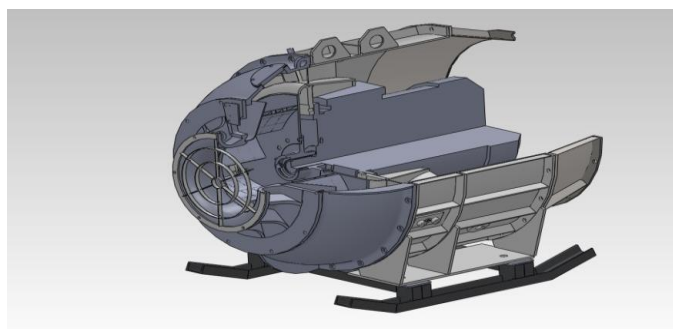


Рисунок 3 – Общий вид радиально-вихревого прямоточного вентилятора местного проветривания ВРВП-6

Таблица 1 – Сравнительная техническая характеристика вентиляторов местного проветривания

Параметр	Вентилятор ВМЭ-6	ВРВП-6
Диаметр рабочего колеса, мм	630	630
Номинальная подача, м <sup>3</sup> /с	7,2	7,9
Полное давление, Па	2650	6100
К.П.Д.	0,76	0,81
Глубина экономичного регулирования	0,33	0,78

Разработка и применения параметрического ряда вентиляторов типа ВРВП на базе предложенной аэродинамической схемы с использованием энергии частотных регуляторов позволит существенно повысить как энергоэффективность, так и безопасность вентиляции, а также конкурентоспособность газообильных угольных шахт.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Косарев Н. П., Макаров В. Н. Аэродинамика квазипотенциального течения в межлопаточных каналах рабочих колес высоконагруженных центробежных вентиляторов: научное издание / – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2005. 108 с.
2. Макаров Н. В. Особенности течения в круговой решетке профилей с вихреисточником в критических точках // Известия УГГУ. Вып. 24. Екатеринбург. 2010. С. 99-101.

## ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПОВЕРХНОСТЯМИ С ПЛОСКОСТЬЮ ПАРАЛЛЕЛИЗМА

Фролов А. П.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Поверхности с плоскостью параллелизма относятся к классу линейчатых поверхностей. Такая поверхность может быть получена в результате перемещения в пространстве прямолинейной образующей, при котором эта образующая остается параллельной какой-либо плоскости, называемой плоскостью параллелизма. Эти поверхности иногда называют поверхностями Каталана [1]. Характер перемещения в пространстве прямолинейной образующей определяется формой, а также взаимным расположением двух направляющих линий.

В технике существует огромное количество зависимостей, которые с успехом могут быть моделированы такими поверхностями. Эти зависимости, как правило, носят экспериментальный характер. Например, если мы имеем зависимость аргумента  $X$  от двух параметров  $Z$  и  $Y$ , а функция  $X=f(Z)$  при любой постоянной величине  $Y$  имеет линейный характер, то совершенно очевидно, что такая зависимость представляет собой поверхность с плоскостью параллелизма. В самом деле, семейство линейных зависимостей  $X=f(Z)$  при различных фиксированных значениях параметра  $Y$  представляет собой проекцию на фронтальную плоскость множества фиксированных положений прямолинейной образующей, которая перемещается в пространстве по определенному закону. Закон этот определяется двумя направляющими и плоскостью параллелизма. Поскольку каждая прямая из семейства линейных зависимостей  $X=f(Z)$  при постоянных значениях параметра  $Y$  параллельна фронтальной плоскости проекций, то совершенно очевидно, что эта плоскость и является искомой плоскостью параллелизма. Что касается двух направляющих, то для их определения достаточно выполнить пару плоских сечений поверхностей произвольными плоскостями. Линии, полученные в этих сечениях, будут являться направляющими поверхности с плоскостью параллелизма. В данном случае удобнее построить сечения двумя профильными плоскостями. В качестве секущих плоскостей следует выбрать профильные плоскости. Линии, полученные в сечении, будут являться искомыми направляющими поверхности. С помощью предложенной методики можно задать любую подобную зависимость на комплексном чертеже. Семейство прямых, каждая из которых определяет зависимость  $X=f(Z)$ , представляет собой линейчатый каркас поверхности.

Приведем конкретный пример реализации данной методики. Экспериментальные исследования зависимости силы пружины ( $F$ ), приведенной к верхнему краю пластины прямооточного клапана поршневого компрессора были проведены с целью определения оптимальной величины радиуса загиба пружины при неизменной величине длины паза прямооточного клапана [2].

При проведении эксперимента для каждой фиксированной величины радиуса загиба пружины ( $R$ ) изменяли величину угла поворота  $\varphi$  пластины клапана, измеряя при этом величину силы пружины ( $F$ ).

Для более точного определения этой величины следует построить геометрическую модель данной зависимости. На рис. 1 приведен комплексный чертеж линейчатого каркаса поверхности, определяющей зависимость  $F=f(\varphi, R)$ . Комплексный чертеж в данном случае состоит из фронтальной и профильной проекций. Профильная проекция семейства линейных зависимостей  $F=f(R)$  представляет собой множество вертикальных прямых. Выполним ряд профильных сечений, соответствующих  $\varphi_0=0, \varphi_1=0,1, \varphi_2=0,2, \varphi_3=0,3$ . Профильная проекция этих сечений представляет собой кривые, обозначенные соответственно  $\varphi_0', \varphi_1', \varphi_2', \varphi_3'$ . Любая пара этих кривых может быть использована в качестве направляющих поверхности с плоскостью параллелизма, которая является геометрической моделью зависимости  $F=f(\varphi, R)$ .

На рисунке 1 показаны результаты проведения экспериментальных исследований [2].

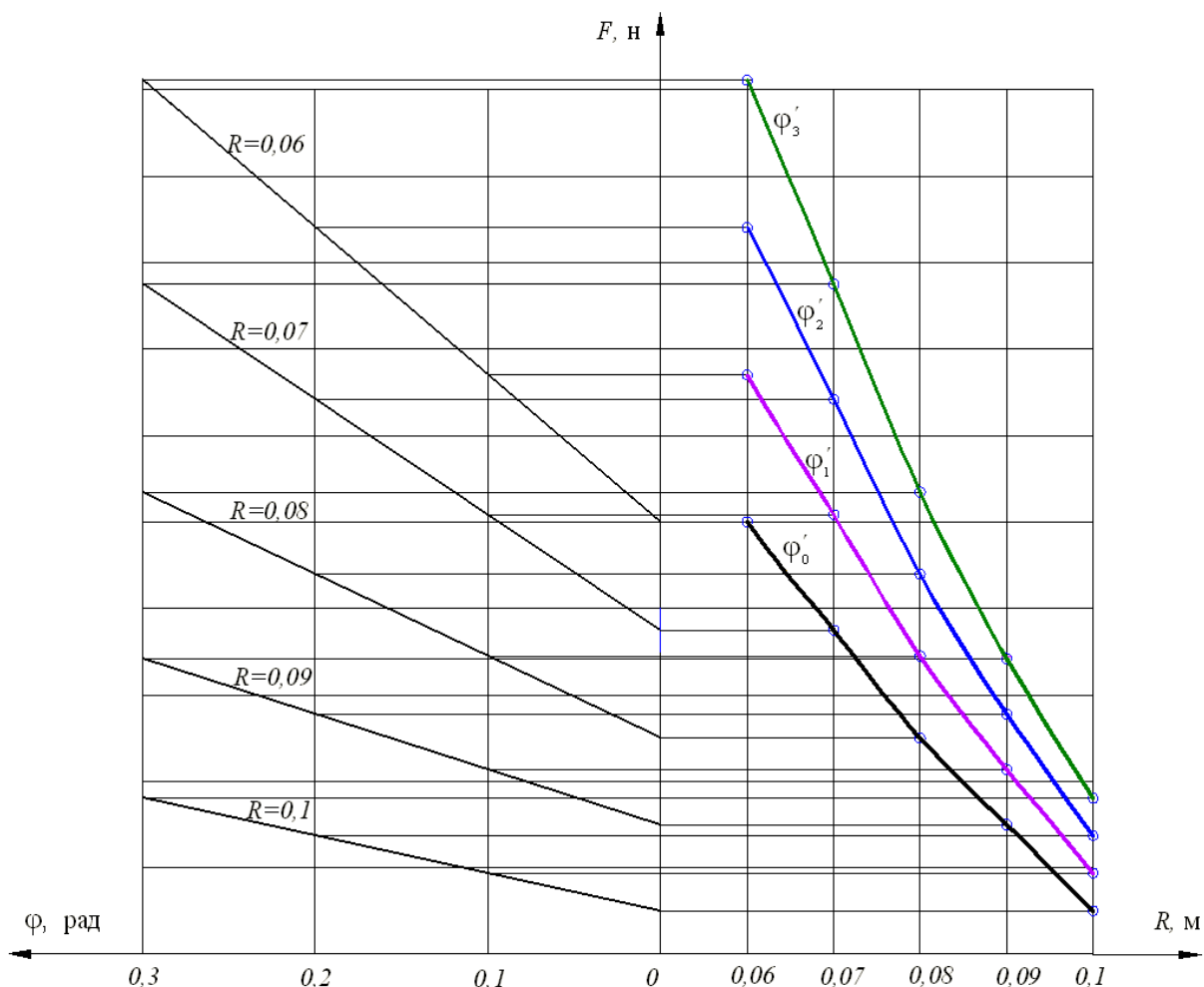


Рисунок 1 – Геометрическая модель зависимости силы пружины, приведенной к верхнему концу пластины прямооточного клапана

Совершенно очевидно, что эта поверхность представляет собой цилиндр с фронтальной плоскостью параллелизма. Модель, показанная на рисунке 1, по существу представляет собой номограмму, которая позволяет исключить экспериментальные исследования объекта для промежуточных величин  $R$ , а также для величин  $r$ , находящихся вне диапазона изменения параметров данного эксперимента.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

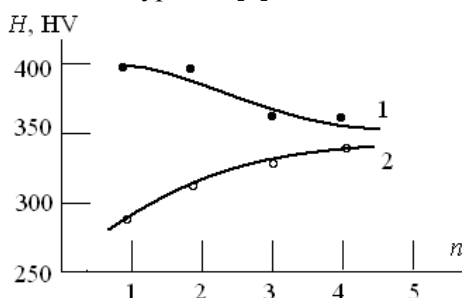
1. Фролов А. П. Линейчатые поверхности с плоскостью параллелизма в курсе «Начертательная геометрия» / А. П. Фролов // Актуальные вопросы обучения молодежи графическим дисциплинам: материалы V Всероссийской научно-методической конференции. Рыбинск, 2003. С. 22.
2. Фролов А. П. Повышение эффективности эксплуатации рудничных поршневых компрессорных установок путем совершенствования воздухораспределительных органов: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06. Свердловск, 1984. 166 с.

## ТВЕРДОСТЬ НАПЛАВЛЕННОГО ПОКРЫТИЯ

Запевалов А. С., Егоров И. И., Хазин М. Л.  
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Многослойная наплавка уменьшает влияние состава основного металла. При многослойной наплавке состав каждого слоя различен, так как различна доля участия основного металла (на который наплавляют) в образовании наплавленного слоя. Если при наплавке 1-го слоя основной металл непосредственно участвует в формировании покрытия, то при наплавке 2-го и последующих слоев он участвует косвенно, определяя состав предыдущих слоев. При наплавке большого числа слоев при некоторых условиях наплавки состав металла поверхностного слоя может быть идентичен дополнительному наплавляемому металлу.

Например, при наплавке порошковой проволокой в среде углекислого газа на деталь из низкоуглеродистой стали составы первого и второго слоев наплавленного металла, отличаются от составов аналогичных слоев, наплавленных такой же проволокой при тех же условиях на детали из среднеуглеродистой стали, что проявляется в различной твердости этих слоев (рисунок 1). Первый слой металла, наплавленный на сталь 45С, имеет твердость выше некоторого заданного уровня HV 350, соответствующего неразбавленному наплавленному металлу, а при наплавке на низкоуглеродистую сталь твердость первого слоя не превышает HV 300, т. е. находится ниже заданного уровня [1].

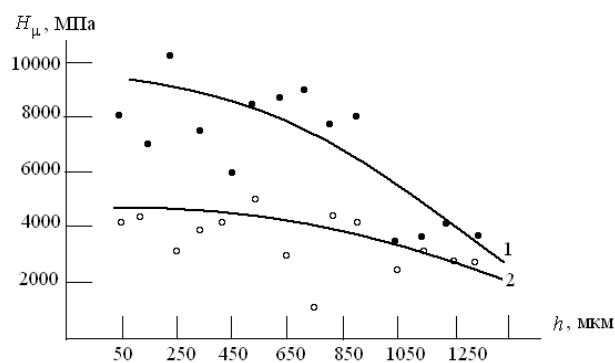


1 – среднеуглеродистая сталь; 2 – низкоуглеродистая сталь;  $n$  – число слоев

Рисунок 1 – Влияние основного металла на твердость наплавленного слоя (наплавка в среде углекислого газа порошковой проволокой диаметром 3,2 мм; расход  $\text{CO}_2$  – 20 л/мин.; сила тока 400 А; напряжение 26 В; скорость наплавки 40 см/мин.) [1]

Аналогично изменяется микротвердость покрытий из высоколегированных сталей 40X13 и X17H13M2T, полученных лазерной газопорошковой наплавкой [2]. Микротвердость покрытий плавно уменьшается по глубине шлифа, т. е. с увеличением доли основного металла в составе наплавленного слоя (рисунок 2).

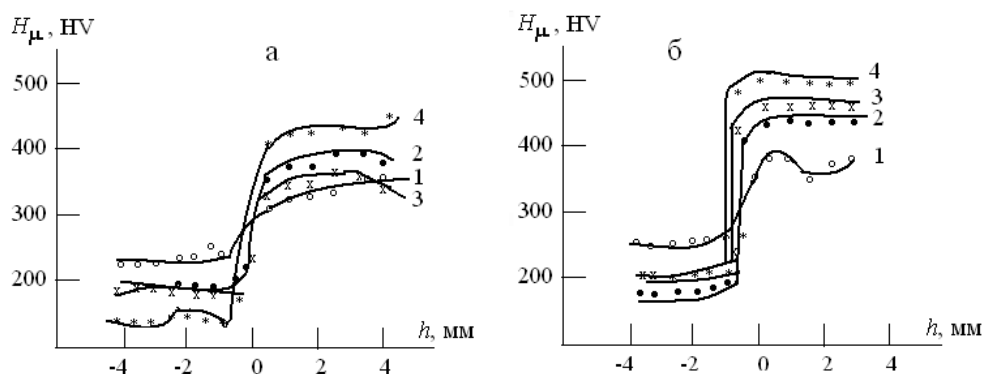
После плазменной наплавки, металл типа хромистой стали 22X16H2M имеет сравнительно высокую твердость (HRC 42...44), что указывает на возможность присутствия в его структуре карбидно-силицидной фазы. Известно, что концентрация элементов-ферритизаторов (кремния, хрома, молибдена и др.) в ферритной фазе выше, чем в аустенитной; более высока в ней и их диффузионная подвижность, что способствует более интенсивному упрочнению ферритной составляющей за счет процессов ее упорядочения и распада при выдержках в соответствующем диапазоне температуры. Отпуск в интервале 650..850 °С приводит к повышению твердости этого типа наплавленного металла до HRC 46...51 и по данным магнитных измерений [3] сопровождается заметным уменьшением количества феррита - тем более значительным, чем больше было его в исходной структуре.



1 – сталь 40X13; 2 – сталь X17H13M2T

Рисунок 2 – Изменение микротвердости ( $H_{\mu}$ ) стали по глубине шлифа ( $h$ ) [2]

Благодаря характерному для плазменной наплавки малому проплавлению основного металла требуемая твердость и заданный химический состав наплавленного металла обеспечивается уже на расстоянии 0,3...0,5 мм от поверхности сплавления (рисунок 3). В результате старения при 600 °С в течение 500 и 1000 ч процессы распада феррита приобретают большую завершенность. Существенных изменений твердости наплавленного слоя не наблюдается. В зоне сплавления не образуется твердых и хрупких составляющих, что должно благоприятно сказываться на работоспособности и надежности наплавленной арматуры.



1 – исходное состояние; 2 – после отпуска; 3, 4 – после отпуска и старения при  $T=600$  °С в течение соответственно 500 и 1000 ч [3]

Рисунок 3 – Распределение твердости по высоте наплавленного слоя 15X19H9M4C5ГЗД: а – основной металл сталь 20; б – то же сталь 12X1MФ

Таким образом, при многослойной наплавке независимо от способа наплавки и химического состава стали, микротвердость наплавленного металла изменяется качественно аналогично.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Справочник сварщика. Под ред. В.В. Степанова. – М.: Машиностроение, 1974. 327 с.
2. Григорьянц А. Г., Мисюров А. И., Третьяков Р. С., Ставертий А. Я. Сравнение эксплуатационных характеристик покрытий из нержавеющей сталей аустенитного и мартенситного классов, полученных методом лазерной газопорошковой наплавки // Наука и образование, 2012. № 6. С. 47-51.
3. Переpletчиков Е. Ф., Рябцев И. А. Свойства сплавов на основе железа для плазменно-порошковой наплавки уплотнительных поверхностей арматуры // Автоматическая сварка, 2011. № 9. С. 20-24.



## НАНОМАТЕРИАЛЫ В ГОРНОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

Колтунов А. В., Долгих И. А., Хазин М. Л.  
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Нанотехнологии являются одним из приоритетных направлений развития научно-технического прогресса в мире. Наноструктурные материалы интенсивно исследуются и находят все большее применение в различных разделах техники и технологии во многих сферах человеческой деятельности – в электронике, информатике, материаловедении, энергетике, машиностроении и др. [1-3]. Наряду с развитием науки в области электроники, исследованием ковалентных материалов значительные успехи достигнуты в понимании структуры и механических свойств металлических наноматериалов.

Одним из таких важнейших направлений является разработка конструкционных наноматериалов. Наноматериалы конструкционного назначения предназначены для изготовления различных изделий, поэтому их оценивают по механическим свойствам. Вследствие наличия особой структуры, наноматериалы проявляют уникальные свойства [4, 5]. Свойства наноматериалов существенно зависят от характера распределения, формы и химического состава кристаллитов.

Интересные с технической точки зрения изменения физико-механических свойств материалов (прочности, твердости, пластичности и др.) начинают проявляться при уменьшении размеров зерен меньше 100 нм [2, 5, 6]. Например, у пластичных металлов и сплавов в нанокристаллическом состоянии твердость в четыре – шесть раз выше, чем в обычном состоянии. У хрупких материалов (боридов, карбидов, нитридов и др.) твердость также повышается, но в меньшей мере – в два-три раза (таблица 1). Повышение прочностных свойств обычно объясняют увеличением протяженности границ зерен, являющихся барьерами для распространения дислокаций.

Таблица 1 – Твердость некоторых наноматериалов, полученных методами компактирования и технологии пленок [2, 5]

Состав	Метод изготовления	Относительная плотность	Толщина пленки, мкм	Размер зерна, нм	Твердость $H_v$ , ГПа
Компакты					
Fe	Теплое прессование	0,94	—	15	8
Ni–64 % TiN	Динамическое прессование	0,97	—	10	13
Ag–76 % MgO	Прессование	—	—	2–50	2,5
WC–10 % Co	Жидкофазное спекание	~ 1,0	—	~ 200	23,6
TiN	Высокие давления и температуры	0,98–0,99	—	30–50	29–31
BN	Спекание в ударных волнах	0,96	—	25	43–80
Пленки					
TiN	Магнетронное напыление	—	1–2	5–30	35–50
TiB <sub>2</sub>	Магнетронное напыление	—	1–4	2–8	50–70
TiN–Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> –TiSi <sub>2</sub>	Плазма CVD	—	3,5	3	~ 100
TiN/VN	Магнетронное напыление	—	2,5	2,5	54
TiN/NbN	Дуговое напыление	—	2	10	78

Другим аспектом является тот факт, что свободная поверхность является стоком бесконечной емкости для точечных и линейных кристаллических дефектов (в первую очередь вакансий и дислокаций). При малых размерах частиц этот эффект заметно возрастает, что может приводить к выходу большинства структурных дефектов на поверхность и очистке материала наночастицы от дефектов структуры и химических примесей. В настоящее время установлено, что процессы деформации и разрушения протекают в тонком приповерхностном слое с опережением по сравнению с внутренними объемами металлического материала, что во многом определяет возникновение ряда физических эффектов, в том числе физического предела текучести и физического предела усталости [7].

Следующей причиной специфики свойств наноматериалов является увеличение объемной доли границ раздела с уменьшением размера зерен или кристаллитов в наноматериалах. При этом можно выделить объемную долю следующих составляющих: границ раздела, границ зерен и тройных стыков [7]. Объемные доли межзеренной и внутривитеренной компонент достигают одинакового значения (по 50 %) при размере зерна порядка 5 нм. После уменьшения размера зерна ниже 10 нм начинает сильно возрастать доля тройных стыков. Еще одну причину специфики свойств наноматериалов связывают с тем, что при процессах переноса (диффузия, пластическая деформация и т. п.) имеет место некоторая эффективная длина свободного пробега носителей этого переноса  $l_e$  [7].

При характерных размерах области протекания процессов переноса много больших  $l_e$ , рассеяние носителей выражено незначительно, но при размерах меньших  $l_e$  перенос начинает зависеть от размеров и формы весьма значительно. В случае наноматериалов в качестве  $l_e$  могут выступать, например, диффузионная длина и длина свободного пробега дислокаций.

Наноструктурные объемные материалы отличаются повышенной прочностью при статическом и усталостном нагружении, а также твердостью по сравнению с обычными материалами. Предел текучести увеличивается по сравнению с обычным состоянием в 2,5-3 раза, а пластичность – либо незначительно уменьшается, либо даже возрастает. Без изменения химического состава стандартных быстрорежущих сталей и твердых сплавов ВК и ВМ за счет термоциклического наноструктурирования и ионного синтеза SiC и SiO<sub>2</sub> из плазмы кремния создан уникальный металлообрабатывающий строительный и буровой комбинированный инструмент, не имеющий аналогов по стойкости и на 15-20 % дешевле лучших мировых образцов [5]. Создание конструкционных наноматериалов находится на начальной стадии развития полезных для практики направлений исследований и разработок и требует использования широкого спектра новых нанотехнологий.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пул Ч., Оуэне Ф. Нанотехнологии / Под ред. Ю. И. Головина. – М.: Техносфера, 2004. 327 с.
2. Андриевский Р. А., Рагуля А. В. Наноструктурные материалы. – М.: Изд. центр «Академия», 2005. 192 с.
3. Козлов Э. В., Жданов А. Н., Конева Н. А. Механизмы деформации и механические свойства наноматериалов // Физическая мезомеханика. 2007. № 10 (3). С. 95-103.
4. Горынин И. В. Исследования и разработки ФГУП ЦНИИ КМ «ПРОМЕТЕЙ» в области конструкционных наноматериалов // Российские нанотехнологии. 2007. Т. 2. № 3-4. С. 36-57.
5. Кочанов Д. И. Наноматериалы и нанотехнологии для машиностроения: состояние и перспективы применения // Ритм. 2010. № 8 (56). С. 16-21.
6. Смирнов Б. Н., Хазин М. Л. Фольга для печатных плат. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 376 с.
7. Балоян Б. М., Колмаков А. Г., Алымов М. И., Кротов А. М. Наноматериалы. Классификация, особенности свойств, применение и технологии получения. – М.: Изд-во Междунар. ун-та природы, общества и человека «Дубна». Филиал «Угреша», 2007. 129 с.

## СТРУКТУРА РАЗРАБОТКИ ОПЕРАЦИЙ ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПОВЕРХНОСТНО-ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

Топоров К. Д., Скворцов И. С., Ямшанов А. А.  
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Широкое применение в промышленности для повышения долговечности деталей машин получили методы отделочно-упрочняющей обработки поверхностно-пластическим деформированием (ОУО ППД). К ним относятся все методы обработки деталей, связанные с пластическим деформированием только их поверхностных слоев и практически не изменяющие исходную точность размеров. Это накатывание, выглаживание, вибронакатывание, виброобработка, дробеструйная, центробежно-ударная, статико-импульсная обработка и др. виды обработки различных поверхностей деталей машин.

Выбор методов ОУО ППД осуществляется в зависимости от размеров деталей, формы и функционального назначения обрабатываемой поверхности. В зависимости от функционального назначения обрабатываемой поверхности детали ОУО ППД можно выполнять на отделочных, отделочно-упрочняющих и упрочняющих режимах.

Отделочная обработка ППД выполняется с целью уменьшения исходной шероховатости поверхности и увеличения ее несущей способности, т.е. увеличения параметра шероховатости  $t_p$  или уменьшения параметра  $R_p$ , практически без упрочнения поверхностного слоя детали. Это необходимо для повышения износостойкости детали при жидкостном трении, контактной жесткости, герметичности и коррозионной стойкости. Процесс отделочной обработки ППД деталей осуществляется при рабочем давлении, обеспечивающем частичное сглаживание выступов шероховатости при контактном сближении  $y_k \leq 0,5 R_{p_{исх}}$

Отделочно-упрочняющая обработка ППД выполняется с целью уменьшения исходной шероховатости поверхности, увеличения ее несущей способности и частичного поверхностного упрочнения детали. Это необходимо для повышения износостойкости при граничном трении, контактной жесткости, герметичности и частично усталостной прочности деталей. Процесс отделочно-упрочняющей обработки ППД деталей осуществляется при рабочем давлении, обеспечивающем контактное сближение в пределах  $0,5 R_{p_{исх}} \leq y_k \leq R_{p_{исх}}$ .

Упрочняющая обработка ППД выполняется с целью упрочнения поверхностного слоя детали. Это необходимо для повышения износостойкости при сухом трении и усталостной прочности деталей. При этом происходит полное переформирование исходной шероховатости, вплоть до формирования нового регулярного профиля. Процесс упрочняющей обработки ППД осуществляется при  $y_k > R_{p_{исх}}$ .

При выборе приведенного радиуса необходимо учитывать вид обработки. Так, при отделочной и отделочно-упрочняющей обработке приведенный радиус целесообразно определять, исходя из требуемых и исходных параметров качества поверхностного слоя, максимальной производительности. При этих видах обработки в основном происходит деформация исходных неровностей шероховатости. Наиболее оптимальной для обеспечения уменьшения волнистости, стабильности усилия, повышения производительности представляется ширина контакта не менее  $3 S_m$  (рисунок 1).

Выбор величины приведенного радиуса при упрочняющих режимах обработки в зависимости от характеристик обрабатываемого материала, требуемой степени и глубины упрочнения наиболее полно рассмотрен в работах В.М.Смелянского [3].

Режимы отделочной, отделочно-упрочняющей и упрочняющей обработки для статических методов определяются давлением в зоне контакта инструмента и обрабатываемой поверхности детали, которое зависит от рабочего усилия  $P$ , фактической площади контакта  $A_\phi$  и твердости материала обрабатываемой детали.

По данным литературных источников [3], отношение максимального шага ударов к минимальному обычно достигает 4 (рисунок 2)

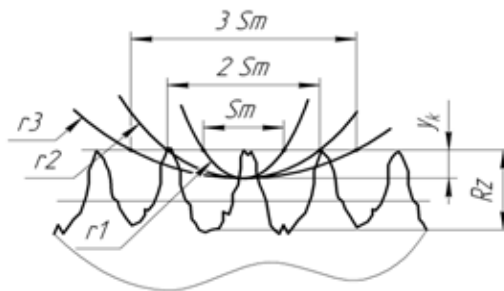


Рисунок 1 – Взаимосвязь радиуса инструмента с параметрами шероховатости

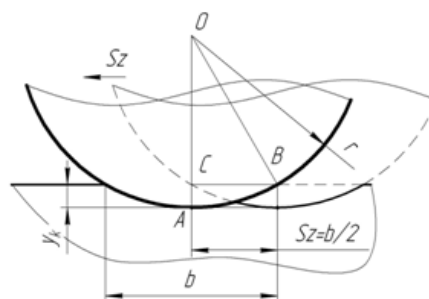


Рисунок 2 – Схема определения максимального шага ударов  $Sz_{max}$

Величина контактного сближения  $y_k$ , необходимая для обеспечения заданной шероховатости, определяется исходя из шероховатости, полученной при предшествующей обработке [1, 2, 4, 5].

Учитывая наличие параметров, оказывающих существенное влияние друг на друга, уравнение целесообразно решать с помощью ЭВМ. Кроме того, достаточно сложно учесть различные дополнительные факторы, влияющие на значение того или иного параметра, поэтому при решении уравнения необходим диалог с пользователем.

При упрочняющих режимах обработки шероховатость получаемой поверхности имеет второстепенное значение, а основными параметрами являются глубина и степень упрочнения. Взаимосвязь режимов обработки, параметров обрабатываемой поверхности и инструмента рассмотрена в работе [6].

Таким образом, предлагаемая методология позволяет проектировать операции ОУО ППД от выбора предшествующего ППД метода до определения режимов обработки и параметров рабочей части инструментов, охватывая как статические, так и динамические (ударные) методы обработки при всех видах ОУО ППД – от отделочных до упрочняющих.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Суслов А. Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. – М.: Машиностроение, 2000. 320 с.
2. Инженерия поверхности деталей / под ред. А. Г. Суслова. – М.: Машиностроение, 2008. 320 с.
3. Смелянский В. М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием. – М.: Машиностроение, 2002. 300 с.
4. Суслов А. Г. Проектирование операций отделочно-упрочняющей обработки поверхностно-пластическим деформированием / А. Г. Суслов, Р. В. Гуров // Упрочняющие технологии и покрытия. 2010. № 3.
5. Подольский М. А. Оценка эффективности упрочнения деталей динамическими методами ППД на основе энергетического критерия: автореф. дис.... канд. техн. наук. Ростов-на-Дону, 2005. 19 с.

## СПОСОБЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ГОРНЫХ МАШИН

Филатов А. В., Булатов А. В., Шипулин А. В.  
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Около 75 % деталей, выбраковываемых при первом капитальном ремонте горного оборудования, являются ремонтпригодными либо могут быть использованы вообще без восстановления. Поэтому целесообразной альтернативой расширению производства запасных частей является вторичное использование изношенных деталей, восстанавливаемых в процессе ремонта [1].

В последние годы наблюдается исключительно бурное развитие технологий нанесения защитных и износостойких покрытий.

Вопросы повышения долговечности деталей и снижения стоимости их ремонта способствовали разработке большого количества методов восстановления узлов и деталей.

Наиболее распространёнными из них в ремонтном производстве являются:

- восстановление посадок с изменением начальных размеров детали;
- восстановление посадок с восстановлением начальных размеров детали.

К методам восстановления посадок с изменением начальных размеров относят способы восстановления связанные с применением дополнительных деталей (постановка ремонтных колец, постановка стальных свёртных втулок, приварка стальной ленты) [2, 3].

К методам восстановления посадок с восстановлением начальных размеров относят способы восстановления связанные с наращиванием изношенных поверхностей деталей (металлизация, наплавка, нанесение электролитических покрытий, электроискровое легирование, нанесение полимерных покрытий) и способы, связанные с пластической деформацией деталей (кёрнение, газопламенная обработка).

Способ восстановления изношенных посадочных отверстий корпусных деталей постановкой ремонтных колец заключается в предварительном растачивании изношенных отверстий с последующей запрессовкой ремонтного кольца с натягом 0,05 ... 0,15 мм, которое стопорят винтами, клеями или другими способами и растачивают под номинальный размер.

Широкое применение данного способа в ремонтном производстве сдерживается из-за присущих ему недостатков: высокой трудоёмкости и себестоимости восстановления, сложности технологического процесса и применяемого оборудования, возможности нарушения параллельности осей и межосевых расстояний отверстий, ослабления жёсткости корпусных деталей в результате их расточки (на 4...5 мм) и запрессовки колец, нерационального расхода металла, высокой точности и чистоты окончательной обработки поверхности (8...9 класс точности), что требует использования труда высококвалифицированных рабочих.

Сущность наплавки заключается в нанесении на изношенную поверхность деталей расплавленного металла в целях восстановления её размеров.

Для нанесения металлических покрытий на изношенные поверхности деталей применяются следующие виды наплавки: электродуговая под слоем флюса, электродуговая в среде защитных газов, электроконтактная, вибродуговая в различных средах, газопорошковая, плазменная, жидким металлом (лужение) и другие.

Несмотря на большое разнообразие видов наплавки наиболее распространёнными для восстановления деталей считаются газопорошковая и плазменная наплавки, при которых непосредственно на изношенную поверхность наносят расплавленный порошок или проволоку газовой или плазменной горелкой.

Подготовка детали к восстановлению заключается в растачивании посадочного места и его обезжиривании. После восстановления поверхности наплавкой металла отверстие растачивают под номинальный размер.

Восстановление посадочных мест корпусных деталей при помощи газопламенной обработки относится к способам восстановления деталей пластической деформацией. Данный способ заключается в использовании деформаций поверхности деталей под влиянием

внутренних напряжений, образующихся в результате нагрева движущимся ацетилено-кислородным пламенем горелки.

Достоинствами способа являются: повышение твёрдости в поверхностных слоях посадочных отверстий (до 450 кгс/мм<sup>2</sup>) и износостойкости (в 1,5...1,8 раза); уменьшение интенсивности изнашивания посадочных поверхностей (в 1,2...1,4 раза) по сравнению с поверхностями новых деталей.

Вместе с тем, процесс газопламенной обработки имеет следующие недостатки: необходим дополнительный прогрев детали до 200...250 °С для уменьшения остаточных напряжений; по окончании обработки необходимо проводить искусственное старение (нагрев до 600 °С и выдержка 10 мин.), а охлаждение во избежание появления трещин осуществлять в термостате; происходит релаксация остаточных напряжений приводящая к изменению геометрических размеров; плохие условия труда.

Применение данных способов наплавки обусловлено простотой технологического процесса и используемого оборудования, высокой производительностью, возможностью получения поверхностей любых размеров.

Нет универсального способа обработки поверхности для удовлетворения комплекса предъявляемых требований. Поэтому постоянно появляются новые способы легирования металлических поверхностей и в их числе – электроискровое легирование – процесс перенесения материала на обрабатываемую поверхность искровым электрическим разрядом.

С момента появления этот способ привлек к себе внимание технологов в связи со следующими специфическими особенностями:

- материал анода (легирующий материал) может образовывать на поверхности катода (легируемая поверхность) чрезвычайно прочно сцепленный с поверхностью слой покрытия; в этом случае не только отсутствует граница раздела между нанесенным материалом и металлом основы, но происходит даже диффузия элементов анода в катод;

- процесс легирования может происходить так, что материал анода не образует покрытия на поверхности катода, а диффузионно обогащает эту поверхность своими составными элементами;

- легирование можно осуществлять в строго указанных местах (радиусом от долей миллиметра и более), не защищая при этом остальную поверхность детали;

- технология электроискрового легирования металлических поверхностей очень проста, а необходимая аппаратура малогабаритна и транспортабельна

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Молодык Н. В., Зенкин А. С. Восстановление деталей машин. – М.: Машиностроение, 2010. 482 с.
2. Восстановление деталей машин: справочник / Ф. И. Пантелеенко, В. П. Лялякин, В. П. Иванов [и др.]. – М.: Машиностроение, 2003. 672 с.
3. Хазин М. Л. Теория и методы восстановления деталей горных машин: учеб. пособие. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2005. 308 с.

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАПЛАВКИ НА СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ

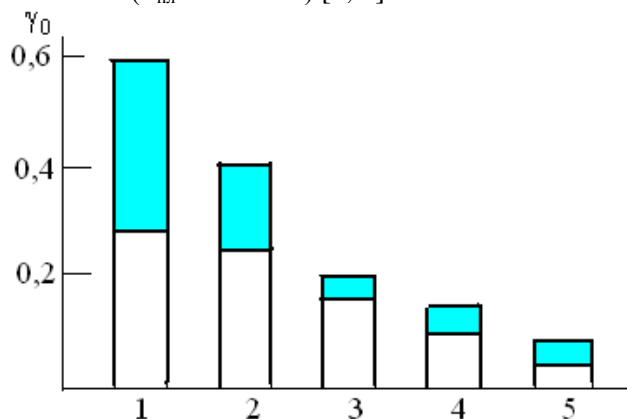
Брусницын И. А., Минабашев А. Л., Кондрашкин Д. А., Хазин М. Л.  
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Наплавку в ремонтном производстве применяют для восстановления расположения, геометрической формы и номинальных размеров изношенных элементов деталей [1, 2]. При использовании наплавки в технологии ремонта необходимо уделять большое внимание механическим свойствам наплавленного металла, которые определяются в основном режимом наплавки и составом присадочной проволоки.

При нанесении наплавленного покрытия на деталь, оно образует единую композицию с металлом детали. Однако химический состав и свойства покрытия могут значительно отличаться от состава и физико-механических свойств детали (основного металла). Свойства наплавленного покрытия зависят от его химического состава, а также от соотношения основного и наплавленного металлов и долями их участия в образовании промежуточной зоны. Разбавление наплавленного слоя основным металлом будет тем меньше, чем меньше доля основного металла ( $\gamma_0$ ) участвует в формировании слоя. В связи с этим, когда желательно иметь в покрытии состав, минимально отличающийся от состава наплавленного сплава, необходимо стремиться к уменьшению доли основного металла в наплавленном покрытии, т. е. к минимальному проплавлению материала детали [3].

Различные методы наплавки отличаются друг от друга тепловой подготовкой основного и наплавленного металлов и, следовательно, глубиной проплавления основного металла. Любые меры, направленные на снижение глубины проплавления основного металла при наплавке, не могут полностью устранить его влияние на состав и свойства металла наплавленного слоя. При наличии большого разнообразия составов основного металла задача сведения до минимума его влияния на наплавленный металл требует знания свойств и состава подвергаемых наплавке материалов.

Доля основного металла при наплавке различных сплавов на детали из низкоуглеродистой стали зависит от способа наплавки, свойств наплавленного и основного металлов (рисунок 1), в том числе и от температуры плавления металлов. Например, дуговая наплавка покрытыми электродами, обеспечивающими наплавку алюминиевой бронзы ( $T_{пл} = 1000 \text{ }^\circ\text{C}$ ), на низкоуглеродистую сталь обеспечивает меньшую величину  $\gamma_0$ , чем наплавка хромоникелевой аустенитной стали ( $T_{пл} = 1420 \text{ }^\circ\text{C}$ ) [1, 2].

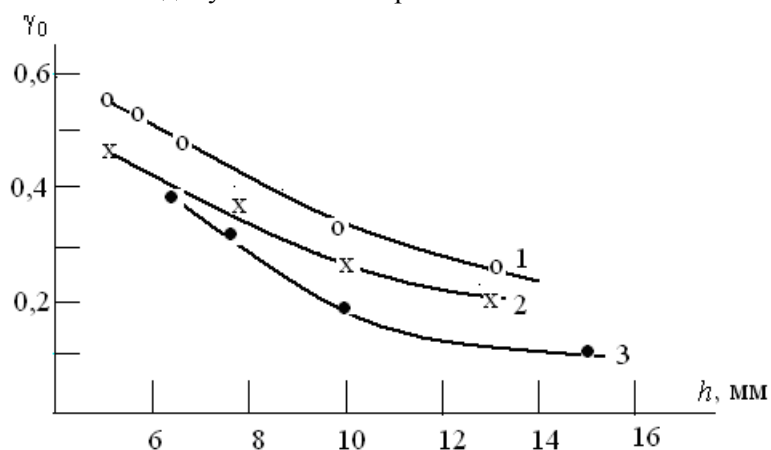


- 1 – автоматическая под флюсом; 2 – ручная дуговая покрытыми электродами;  
3 – автоматическая под флюсом с дополнительной присадочной проволокой;  
4 – автоматическая под флюсом ленточным электродом;  
5 – плазменной струей с токоведущей проволокой

Рисунок 1 – Доля участия основного металла ( $\gamma_0$ ) при наплавке хромоникелевой аустенитной стали, выполненной различными способами

Аналогично может влиять и применение при наплавке, выполняемой под флюсом или в защитных газах, электродной ленты, спрессованной из порошков, по сравнению с катаной. Большее электрическое сопротивление спрессованной ленты и ее меньшая теплопроводность приводят к более быстрому ее расплавлению и возможному уменьшению доли основного металла в наплавленном слое.

Естественно, что на долю основного металла в наплавленном слое влияет и интенсивность теплоотвода в восстанавливаемой детали, который зависит от теплофизических свойств металла детали, ее геометрических размеров (в частности, толщина металла вблизи наплавляемой поверхности), а также наличия регулирования термического режима наплавляемой детали (сопутствующего подогрева или охлаждения различными приемами). Влияние толщины наплавляемой детали из алюминиевой бронзы при наплавке покрытыми электродами разного диаметра на величину  $\gamma_0$  показано на рисунке 2. При увеличении толщины детали усиливается теплоотвод и уменьшается проплавление основного металла.



1 – диаметр электрода 4 мм,  $I_{св} = 140$  А; 2 – диаметр электрода 5 мм,  $I_{св} = 190$  А;  
3 – диаметр электрода 6 мм,  $I_{св} = 210$  А

Рисунок 2 – Влияние толщины детали ( $h$ ) и режима наплавки на долю основного металла в одиночном валике ( $\gamma_0$ ) при наплавке медно-никелевыми электродами на бронзу

Обеспечение требуемого состава наплавленного покрытия в некоторых случаях может потребовать использования дополнительных (присадочных) металлов таких составов, при которых ухудшается их пластичность. В этом случае используют наплавочные материалы в виде порошков или гранул, что затрудняет наплавку. В таких случаях можно использовать наложение на наплавляемую поверхность предварительно спрессованных из порошков (иногда спеченных или скрепленных какой-нибудь связующей добавкой) наплавочных заготовок (колец и пр.) с последующим их расплавлением и подплавлением основного металла. Для этого наиболее часто в качестве источника нагрева используют дугу с неплавящимся, обычно вольфрамовым, электродом, плазму или токи высокой частоты. При правильном подборе режима основной металл, получающий подогрев за счет теплопередачи через наплавочный металл, может расплавляться ограниченно, не приводя к большим значениям  $\gamma_0$  в наплавленном слое. Значительно менее стабильные результаты получаются при наплавке зернистых твердых сплавов угольной дугой.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Восстановление деталей машин: справочник / Ф. И. Пантелеенко, В. П. Лялякин, В. П. Иванов [и др.]. – М.: Машиностроение, 2003. 672 с.
2. Хазин М. Л. Теория и методы восстановления деталей горных машин: учеб. пособие. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2005. 308 с.
3. Хасуи А., Моригани О. Наплавка и напыление / Пер. с яп. – М.: Машиностроение, 1995. 240 с.