

Секция 13

ГОРНОЕ ДЕЛО

НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ ГОРНОГО ДЕЛА В ТРЕТЬЕМ ТЫСЯЧЕЛЕТИИ

В.Г. Лукьянов, профессор

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В общем комплексе работ при поисках, разведке и до разведке месторождений полезных ископаемых горно-разведочные работы занимают важное место, обеспечивая высокое качество и достоверность получаемых геологических данных, особенно в условиях разведки месторождений цветных, редких и благородных металлов. Странами СНГ ранее при разведке месторождений полезных ископаемых, главным образом, на стадии детальной разведки, ежегодно проводилось около 300 тыс.м горизонтальных горно-разведочных выработок, такой же объем горно-разведочных выработок ежегодно выполнялся и в других отраслях горнодобывающей промышленности.

Распад СССР и переход ряда горнодобывающих отраслей в частную собственность привели к кризису сырьевой базы страны. Недостаточно проводится прирост запасов полезных ископаемых. Объем горно-разведочных работ резко снизился. И, видимо, так долго не может продолжаться. Существующие рудники дорабатывают разведанные полезные ископаемые, поэтому необходимо проводить горно-разведочные работы, чтобы увеличить запасы месторождений. По-новому надо подойти к существующим технологиям отработки рудников, максимально используя все полезные компоненты (многое уходит в отвал), и использовать нетрадиционные технологии, которые разработаны учеными, но не дошли до производства, необходимо усилить поисковые разведочные работы в таких регионах, как Читинская и Магаданская области, Хабаровский край, Якутия, Западная Сибирь.

Прогресс в технологии, технике и организации проведения горно-разведочных выработок видится в рациональном использовании разработок ученых, конструкторов и достижений практиков, полученных за предыдущее десятилетие, которые можно свести к следующему:

- совмещению детальной разведки с промышленным освоением, т.е. сооружению и использованию для детальной разведки горно-капитальных и горно-подготовительных выработок (выработок разведочно-эксплуатационного назначения);
- применению методов многовариантных расчетов организационно-технологических параметров горно-проходческих работ при составлении технологических карт их проведения;
- совмещению отдельных процессов во времени и пространстве;
- повышению уровня механизации горнопроходческих процессов;
- применению научно обоснованных типовых решений по проведению горизонтальных горно-разведочных выработок.

Основные научные результаты, полученные сотрудниками кафедры горного дела при участии студентов ТПУ, следующие:

- разработаны теоретические и практические основы прогрессивной многозабойной технологии проведения горно-разведочных выработок при детальной и эксплуатационной разведке, базирующихся на выявленных закономерностях между основными организационно-технологическими параметрами многозабойного метода проходки с использованием современных технических средств и передовых форм организации труда, что позволяет сократить сроки разведки месторождений;
- расширены и углублены исследования в области техники, технологии и организации проведения горно-разведочных выработок в Сибири, на Северо-Востоке страны, а также в Таджикистане и Узбекистане;
- установлены взаимосвязи между технологическими и организационными факторами при разведке золоторудных месторождений, а также на месторождениях других цветных металлов;
- разработан и предлагается принципиально новый методический подход к разработке ресурсосберегающей технологии проведения горизонтальных выработок, позволяющий учитывать в типовых и индивидуальных проектах подземных горнопроходческих работ основные параметры проектируемой разведочной сети;
- впервые предлагается новая концепция расчета графика организации работ специализированных проходческих звеньев, при обслуживании одним комплектом мобильного проходческого оборудования нескольких забоев в течение смены.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК И ПРЕДЕЛЬНОГО СРОКА СЛУЖБЫ ВЕНТИЛЯТОРА ВРЦД-4,5С РУДНИКА СКРУ-3 ОАО «СИЛЬВИНИТ»

Д.А. Афонин

Научный руководитель доцент В.Г. Саралёв

Пермский государственный технический университет, г. Пермь, Россия

В современных условиях горные предприятия постоянно наращивают объёмы производства. В случае СКРУ-3 это является особо актуальным. Увеличение объёмов, несомненно, влияет на работу всех элементов предприятия и вентиляторная установка не исключение. При этом очень важно знать реальный срок службы и нагрузки, действующие на элементы установки, что и рассматривается в данной работе. По оставшимся запасам и годовой производительности рудника определяется срок его эксплуатации.

Нагрузки, действующие на вал ротора, можно разделить на две основные группы:

1) нагрузки, меняющие положение относительно определенного волокна вращающегося вала, к которым относится вес элементов ротора и поперечное усилие, возникающее из-за разности статических давлений в спиральном кожухе;

2) нагрузки, не вращающиеся по отношению к валу, т. е. вращающиеся в пространстве синхронно с частотой вращения вала. К этим нагрузкам относятся: неуравновешенное усилие от приводной муфты, центробежные силы от оставшейся после балансировки неуравновешенности и эксплуатационного дисбаланса, а также момент от перекоса рабочего колеса относительно оси вала.

К весовым нагрузкам следует отнести вес собственно вала, распределенный по его длине, вес рабочего колеса со ступицей, приложенный в середине посадочной опорной поверхности ступицы, а также вес половины приводной муфты (вторая половина веса муфты передается на вал двигателя). В том случае, когда центр тяжести рабочего колеса не совпадает с серединой опорной поверхности ступицы, необходимо учитывать изгибающий момент.

При работе вентилятора в неоптимальном режиме и его регулировании возникает переменное давление в разных сечениях спирального кожуха, что приводит к появлению поперечного усилия, которое передается на вал от рабочего колеса. Оно приложено перпендикулярно к оси вала в точке, находящейся от коренного диска на расстоянии, примерно равном половине ширины лопатки колеса на выходе.

Неуравновешенное усилие от приводной муфты возникает из-за того, что нормальная точность изготовления приводных элементов не обеспечивает одновременной работы двух диаметрально расположенных зубьев или пальцев.

Центробежная сила заводского дисбаланса появляется вследствие остаточной неуравновешенности ротора вентилятора.

Центробежные силы от эксплуатационного дисбаланса являются следствием неравномерного отложения рудной или породной пыли, обмерзания лопаток, попадания воды в полость одной или нескольких лопаток, неравномерного их износа.

Изгибающий момент от перекоса рабочего колеса возникает в связи со смещением центров тяжести половин колес относительно перпендикуляра к оси вала, из-за биения опорной поверхности бурта ступицы, неплоскостности дисков.

Рассмотренные в нагрузки вызывают деформации и напряжения в сечениях вала. При этом силы, имеющие постоянное направление в пространстве, вызывают вынужденные колебания вала. Поскольку в каждом данном сечении напряжения и прогиб пропорциональны, с помощью динамического коэффициента можно оценивать увеличение напряжений в вале при приближении к частотам, равным частоте собственных колебаний.

После определения всех нагрузок и усилий проводится проверочный расчет вала. По его результатам намечаются опасные сечения на конструктивном эскизе вала, определяются напряжения от изгиба и кручения в опасных сечениях и, исходя из величин напряжений, определяются коэффициенты запаса прочности.

На основании данных полученных при расчете на прочность опасное сечение проверяется на выносливость.

Поскольку скорость вращения вала постоянная и максимальная, проверку усталостной прочности следует вести, исходя из числа циклов, соответствующего непрерывной работе машины предельного срока службы по данным завода изготовителя в течение 20 лет [1]. Исходя из представления, что материал не является абсолютно упругим, можно предположить, что при нагрузке, близкой к нулю, разрушение наступает при числе циклов 10^{14} , а каждому напряжению, меньшему предела усталости, соответствует свое разрушающее число циклов [2]. При этом следует полагать обеспеченной прочность вала по выносливости в том случае, если рабочее число циклов за весь возможный срок эксплуатации в 1,4 – 1,6 раза меньше найденного разрушающего.

Также ещё весьма нагруженными и работающими в тяжёлых условиях являются диски и лопатки рабочего колеса. Расчет данных элементов сводится к определению напряжений в них и по полученным результатам делается вывод об их прочностных качествах.

Расчёт дисков ведётся, на основе метода для толстостенных оболочек, когда на выделенный элемент кольцевого сечения диска действуют силы собственной массы и массы лопаток.

На каждый элемент лопатки (полоску) действует изгибающий момент от собственных центробежных сил, растягивающее или сжимающее усилие от относительного поворота дисков, зависящее от относительной жесткости дисков и лопаток, усилие от взаимодействия с соседними полосками лопатки, а также момент в заделке у коренного диска. Полоска же рассматривается как балка, защемлённая на коренном диске и упругоопёртая на покровном.

Таким образом, на основании проведённого исследования можно сделать вывод, что вентилятор проработает положенный ему срок в 20 лет и рассмотренные выше элементы не выйдут из строя по причине потери прочностных свойств. Но следует заметить, что наиболее ответственными, работающими в тяжёлых условиях при высоких скоростях вращения и больших нагрузках, являются подшипники коренного вала вентилятора и как, показал расчет, их придётся менять в процессе эксплуатации.

Литература

1. Шахтные вентиляторные установки главного проветривания: Справочник/ Бабак Г.А., Бочаров К.П., Волохов А.Т. и др. – М.: Недра, 1982. – 296 с.
2. Ковалевская В.И., Бабак Г.А., Пак В.В. Шахтные центробежные вентиляторы. – М.: Недра, 1976. – 320 с.

СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ПРОВЕДЕНИЯ ГОРНОРАЗВЕДОЧНЫХ ВЫРАБОТОК С ПОМОЩЬЮ СКРЕПЕРНЫХ УСТАНОВОК

И.Т. Гарипов

Научный руководитель профессор В.Г. Лукьянов
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Скреперные установки (рис. 1) широко применяют при подземной разведке и разработке руд черных, цветных, редких и благородных металлов, горно-химического сырья, каменной соли, гипса, строительных материалов, на открытых горных и строительных работах и ограниченно – в угольной промышленности. Их успешно используют при сооружении разведочных каналов. Скреперные установки рациональны для механизации погрузки горной массы при проведении горизонтальных и наклонных разведочных выработок площадью сечения до 4 м².

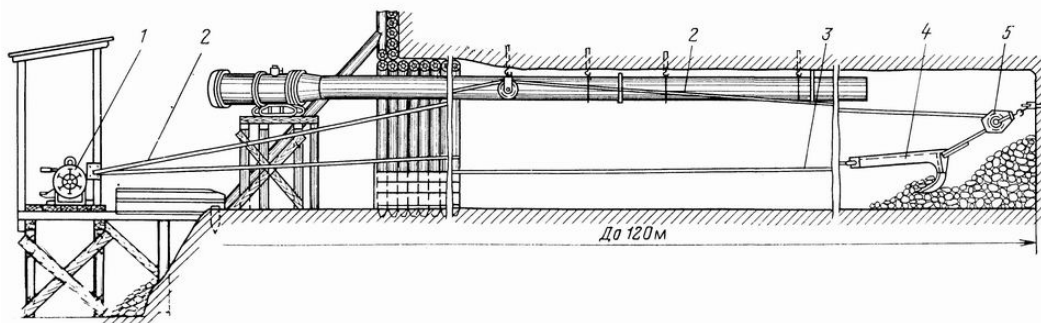


Рис. 1. Скреперная установка на уборке породы в штольне:

1 – скреперная лебедка; 2 – канат холостого хода; 3 – канат рабочего хода; 4 – скрепер; 5 – скреперный блок

Скреперные установки можно использовать в двух вариантах: как передвижные скреперные погрузчики и как переносные скреперные установки. В первом случае установка представляет собой погрузочное средство на колесно-рельсовом ходу с рабочим органом верхнего захвата породы в виде гребка-скрепера.

После погрузки породы, взорванной за один цикл, погрузчик откатывают от забоя на безопасное расстояние до окончания взрывных работ.

Во втором случае скреперную лебедку устанавливают на относительно длительный срок с таким расчетом, чтобы, не меняя места ее установки, можно было пройти 50–70 м выработки, и на пройденном участке смонтировать рельсовый путь.

К достоинствам скреперной погрузки породы относят: минимальные капитальные затраты, необходимые для организации скреперования, возможность применения в выработках разных площадей поперечного сечения (в том числе и малых) с различными углами наклона почвы и с разной степенью обводненности, простоту конструкции и легкость управления установкой, низкую себестоимость проведения выработки.

К недостаткам скреперной погрузки породы относят низкую производительность по сравнению с применением самоходных погрузочных машин, особенно при погрузке крупных плитчатых кусков породы, трудности скреперования на криволинейных участках и необходимость установки блока для хвостового каната после каждого взрыва.

Передвижные скреперные погрузчики могут быть с забойным блоком, устанавливаемым в забое, и с забойным блоком на стреле или манипуляторе, устанавливаемым непосредственно на ходовой части.

Скреперная передвижная установка (рис. 2) состоит из скрепера, служащего для зачерпывания и перемещения горной массы к месту погрузки; электрической или пневматической лебедки, расположенной на платформе; головного (грузового) каната, прикрепленного к передней части скрепера, при помощи которого перемещается грузный скрепер; хвостового каната, при помощи которого порожний скрепер возвращается к месту зачерпывания породы; забойного блока (ролика) и направляющего ролика.

Установку монтируют на колесно-рельсовой платформе. Она имеет наклонные и горизонтальные полки с окнами для направления движения породного груза (и разгрузки) в вагонетку. Крепление установки можно осуществлять захватами (приспособлениями) за рельсы или при помощи вертикальных распорных колонок. Скреперную лебедку можно помещать над платформой.

При проведении рассечек из горизонтальных выработок скреперную установку можно располагать в нише, пройденной на одном уровне с головной выработкой, или в рассечке (камере), пройденной выше основной выработки.

В последних схемах конструкция скреперной установки упрощается. Погрузку породы в вагонетки осуществляют через люки скреперного полка, устраиваемого на сопряжении выработок. Для повышения производительности погрузки скреперование производят спаренными скреперами. Эту схему применяют при проведении рассечек длиной до 70 м.

При большей длине доставки целесообразно использовать скреперы большей вместимости. Конструкция самоходного гидрофицированного комплекса СКГ (рис. 2) включает в себя самоходно-монтажную

базу (ходовая часть и поворотная платформа машины ППН-1 с гидроцилиндрами) и скреперный полок. Скреперный полок представляет собой площадку металлической конструкции, несущая рама которой изготовлена из швеллера №14. На одном конце площадки полка монтируют скреперную лебедку на салазках, позволяющих перемещать ее в рабочее или транспортное положение. Другой конец площадки полка представляет собой лоток (желоб) со съёмными боковыми ограждениями, направляющий скрепер к месту разгрузки. Разгружают скрепер в средней части платформы полка в вагоны через отверстие, перекрытое решеткой.

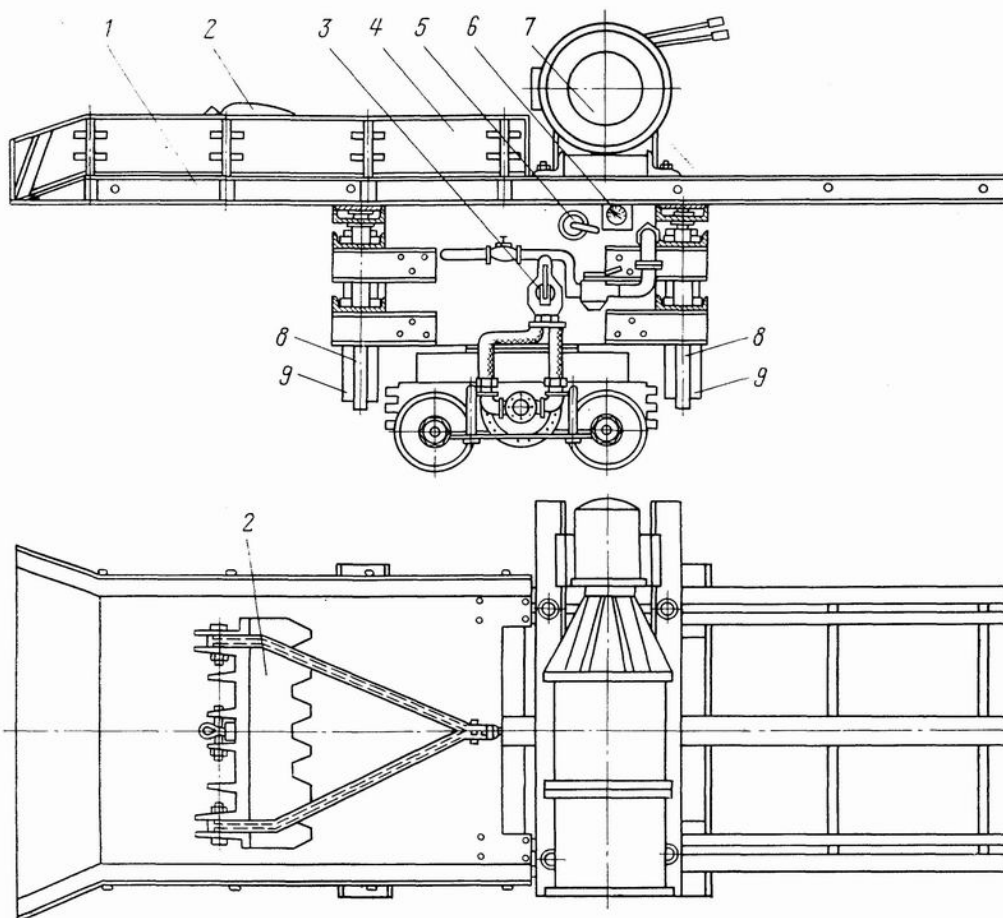


Рис. 2. Самоходный гидрофицированный скреперный комплекс:
 1 – скреперный полок; 2 – скрепер; 3 – пульт управления ходовым двигателем; 4 – съёмное ограждение скреперного полка; 5 – гидрораспределитель с редукторов давления; 6 – манометр;
 7 – скреперная лебедка; 8 – направляющие траверсы подъема полка; 9 – гидроцилиндры

Скреперы для подземных горных работ подразделяются: по принципу действия (типу) – гребкового, ящичного, гребково-ящичного и совкового типов; по конструкции – жесткие и шарнирно-складывающиеся; по расположению рабочих кромок – односторонние и двусторонние; по изготовлению (исполнению) – литые, сварные и комбинированные; по способу сборки – неразборные (цельные) и разборные.

Основными типами рудничных скреперов являются гребковые и ящичные (рис. 3, а, б).

Скреперы гребкового типа используют преимущественно для доставки неоднородных по крупности и составу, крепких и тяжелых руд и пород, склонных к слеживанию; ящичного – для доставки сравнительно нетвердой, хорошо разрыхленной горной массы.

Также эффективно применение аккумулирующих скреперов с верхним или нижним захватом горной массы. Основная особенность таких скреперов состоит в том, что заполнение их осуществляется несколькими последовательными ходами гребка или совка; сам скрепер в период захвата неподвижно располагается перед штабелем. Благодаря этому относительные потери времени на движение скрепера уменьшаются, а производительность установки возрастает на 20 % и более.

Также для повышения производительности используют многосекционные и многоковшовые скреперы.

Основной рабочий параметр скрепера – его объем, составляет от 0,16 м³ до нескольких кубометров.

В России и за рубежом существует большое количество моделей скреперных лебедок, которые можно разделить по ряду общих признаков на характерные основные группы (табл.).

Наиболее широкое распространение в отечественной и зарубежной практике находят двух- и трехбарабанные скреперные лебедки с соосным расположением двигателя и барабанов. Целесообразность такой компоновки определяется условиями перемещения лебедок по горным выработкам (доставкой к месту работы).

В отечественной и зарубежной практике применяются также двухбарабанные скреперные лебедки с двигателем, расположенным параллельно оси барабанов. Эти лебедки имеют минимальные размеры по длине, однако конструктивно они несколько сложнее и менее удобны при транспортировании.

Таблица

Классификация скреперных лебедок

Основные признаки	Подразделение скреперных лебедок
Число барабанов скреперной лебедки	Двухбарабанные Трехбарабанные
Компоновка двигателя и барабанов	Двигатель и барабаны размещены на одной оси Двигатель расположен параллельно общей оси барабанов Двигатель расположен перпендикулярно оси барабанов Двигатель и каждый барабан лебедки размещены на отдельных параллельных осях
Тип двигателя (вид энергии)	Электрический Пневматический Внутреннего сгорания
Передача движения от двигателя на вал лебедки	Зубчатая Цепная Ременная
Управление скреперной лебедкой	Ручное Дистанционное Автоматическое

Лебедки с расположением двигателя перпендикулярно оси барабанов встречаются в двух исполнениях. Такие схемы имеют очень ограниченное применение из-за сложности конструкции, монтажа и транспортирования, а также больших размеров и веса.

Лебедки с расположением двигателя и барабанов на параллельных осях для подземных работ применяют редко. Такую компоновку иногда применяют за рубежом в особо мощных лебедках.

Основная рабочая характеристика скреперных лебедок – мощность двигателя варьируется от нескольких кВт до 100 и более.

Применение дистанционного управления лебедками дает возможность облегчить труд рабочего, обеспечить безопасность обслуживания, производить скреперование по выработкам, расположенным перпендикулярно друг к другу.

При переводе лебедки на дистанционное управление усилие рабочего, необходимое для включения барабанов лебедки, заменяется усилием, развиваемым каким-либо приводом. При этом рабочий располагается в таком месте, которое безопасно и удобно для наблюдения за движением скрепера.

Различают системы дистанционного управления с механическим, пневматическим и электрическим приводами. В свою очередь, дистанционное управление с электрическим приводом подразделяется на электромагнитное, электромеханическое, электрогидравлическое и электропневматическое (рис. 4).

В пневматических дистанционных системах управление приводом осуществляется клапанами; в электропневматических – соленоидными клапанами, а в электрических – кнопочными блоками.

Автоматическое управление предназначается для закономерного переключения рабочего и холостого ходов скрепера и осуществляется посредством специальных датчиков; в этом случае один рабочий может обслуживать несколько подземных установок, а его обязанности сводятся лишь к наблюдению за состоянием и исправностью оборудования.

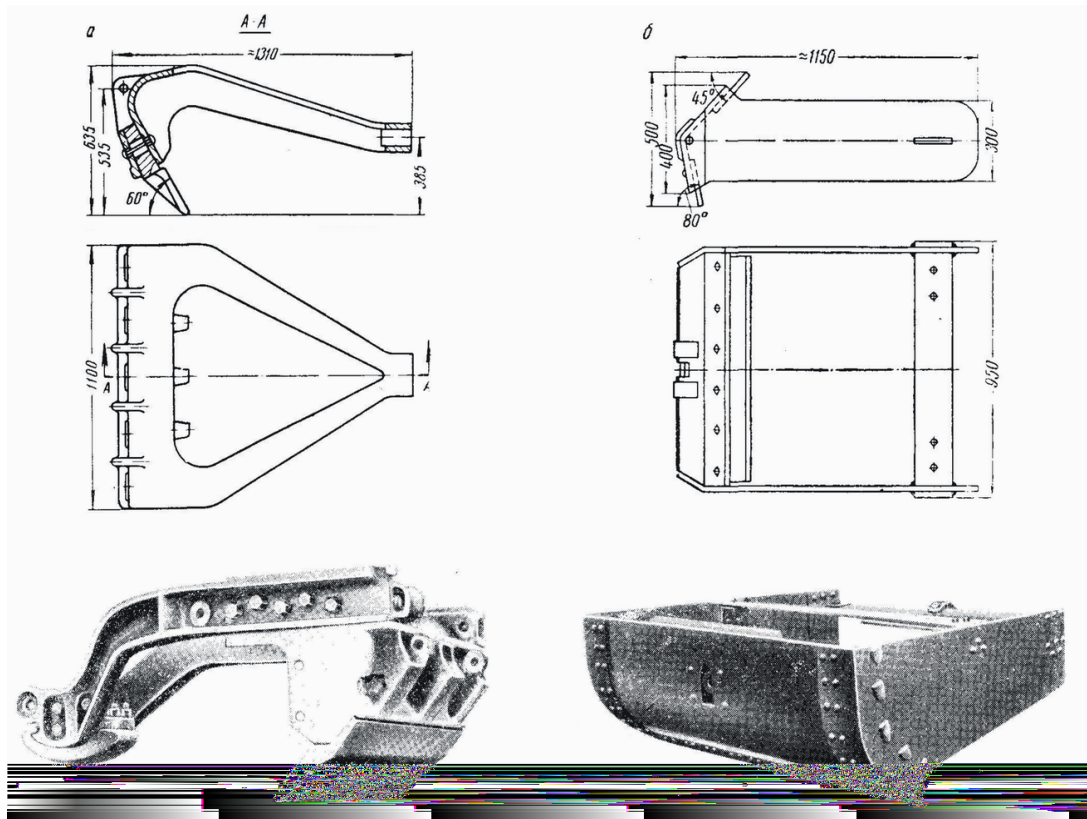
В отличие от дистанционного управления, где переключение хода скрепера осуществляется рабочим с пульта управления, в автоматической скреперной лебедке подача импульсов на переключение хода скрепера производится без участия рабочего, посредством различных систем датчиков.

В отечественной практике применяется несколько типов датчиков: механические, электромеханические, фотоэлектрические, индуктивные и др. Датчики могут быть установлены непосредственно на скреперной лебедке и получать импульс от ее центрального вала или барабанов. Испытан ряд конструкций автоматических скреперных лебедок, в которых датчик непосредственно связан со скреперными канатами.

В отечественной практике применяют также автоматические скреперные установки, датчики которых получают импульсы от скрепера в зависимости от пройденного им пути. Пройдя заданное расстояние, скрепер замыкает цепь автоматического управления и тем самым подает импульс на переключение барабанов лебедки.

Ведется совершенствование скреперной уборки породы как в техническом плане – совершенствование оборудования, так и в технологическом – повышении эффективности производственных операций.

В качестве основных резервов увеличения производительности и улучшения эксплуатационных показателей скреперных установок могут быть использованы следующие методы: уменьшение длины скреперования; увеличение емкости скрепера и коэффициента его наполнения; повышение скорости рабочего и холостого хода; сокращение продолжительности рабочих пауз и потерь времени по организационным причинам; повышение конструктивной прочности, надежности действия и долговечности скреперного оборудования.



*Рис. 3. Отечественные скреперы:
а – литой гребкового типа со съёмными зубьями; б – двусторонний сварной ящичного типа*

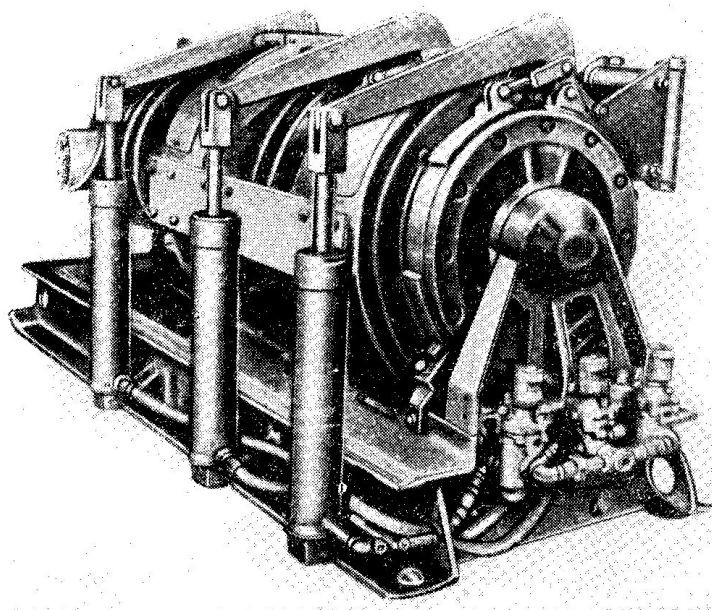


Рис. 4. Трехбарабанная скреперная лебедка с электропневматическим дистанционным управлением

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАЗВАЛА ВЗОРВАННОЙ ГОРНОЙ МАССЫ НА КАРЬЕРАХ

Д.Ю. Горлов

Научный руководитель профессор В.Н. Игнатов

Южно-Российский государственный технический университет, г. Новочеркасск, Россия

Горное предприятие – одно из наиболее ресурсоемких современных производств, поэтому для интенсификации горных работ необходимо широкое внедрение достижений научно-технического прогресса. Актуальной задачей горного производства является оптимизация технологических процессов, для чего необходимо широкое применение ЭВМ, создание и внедрение систем автоматизированного проектирования и планирования.

В условиях рыночных отношений для горнодобывающих предприятий становится актуальным оперативное воздействие на производство. Поэтому, основными требованиями анализа технико-экономических показателей работы являются его системность, комплексность и оперативность. Для решения этих задач необходимо широко использовать современные компьютерные технологии, прикладное программное обеспечение в виде интегрированных горно-геологических информационных систем (ГГИС).

Реализация автоматизированного проектирования предполагает создание на основе математических моделей программного обеспечения, методов и алгоритмов для решения различных проектных задач. Одной из самых распространенных и сложных задач при проектировании горных работ является математическое моделирование геометрических объектов, которые наиболее удобно представлять в аналитическом виде с помощью уравнений (зависимостей).

При проектировании и составлении планов развития горных работ на карьерах необходимо прогнозировать параметры развала породы, разрыхленной взрывом (рис.). С помощью регрессионного анализа опытных и нормативных данных [1] получен ряд функциональных зависимостей, характеризующих параметры развала взорванной горной массы на карьерах по добыче сырья для производства строительных материалов.

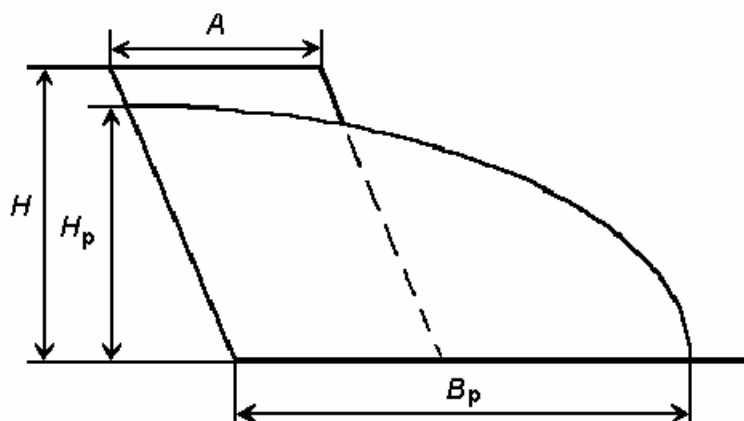


Рис. Параметры развала взорванной горной массы в карьере

Полная ширина развала (B_p , м) описывается системой уравнений:

$$B_p = \left\{ \left[1,481H \left(1,869 \frac{A}{H} \right) - A - K_2 \right] K_1 + A \right\} \frac{K_p}{1,5}, \quad \text{при } A < 0,9H$$

$$B_p = \left[(1,267H + 0,461 - K_2) K_1 + A \right] \frac{K_p}{1,5}, \quad \text{при } 0,9H \leq A < 2,3H$$

$$B_p = \left\{ \left[\left(7,9H - 7,558 \frac{H^2}{A} \right) - A - K_2 \right] K_1 + A \right\} \frac{K_p}{1,5}, \quad \text{при } 2,3H \leq A < 3H$$

$$B_p = \left[(2,4H - K_2) K_1 + A \right] \frac{K_p}{1,5}, \quad \text{при } 3H \leq A \leq 5H$$

где H - высота взрываемого уступа, м; $A = W + b(n - 1)$ - ширина буровой заходки, м; W - линия сопротивления по подошве уступа, м; b - расстояние между рядами скважин, м; n - количество рядов скважин; K_p - коэффициент разрыхления породы; K_1 - поправочный коэффициент при короткозамедленном взрывании (0,75 - безврубная порядная схема коммутации зарядов; 0,675 - врубная схема с клиновидным или трапециевидным врубом; 0,6 - врубная схема с поперечным боковым или призматическим врубом); $K_2 = 1,22H \cos \beta$ - величина уменьшения неполной ширины развала для наклонных скважин, м; β - угол наклона скважин к горизонту, градус.

Максимальная высота развала (H_p , м) определяется по формулам:

$$H_p = \left\{ \left[0,81 + 0,318 \ln \left(\frac{A}{H} \right) \right] H + 0,6H \cdot \cos \beta \right\} K_3, \quad \text{при } A < 0,9H$$

$$H_p = \left[\left(1,545 - 0,693 \frac{H}{A} \right) H + 0,6H \cdot \cos \beta \right] K_3, \quad \text{при } 0,9H \leq A < 1,6H$$

$$H_p = \left[1,035H \left(\frac{A}{H} \right)^{0,154} + 0,6H \cdot \cos \beta \right] K_3, \quad \text{при } 1,6H \leq A < 3H$$

$$H_p = \left[0,8H \cdot 1,1545 \frac{A}{H} + 0,6H \cdot \cos \beta \right] K_3, \quad \text{при } 3H \leq A \leq 4H$$

$$H_p = (1,421H + 0,6H \cdot \cos \beta) K_3, \quad \text{при } A > 4H$$

где K_3 - поправочный коэффициент при короткозамедленном взрывании ($K_3 = 1,15$ - для безврубовой порядной схемы коммутации зарядов; $K_3 = 1,2$ - для врубовых с клиновидным и трапецидальным врубом или диагональных схем; $K_3 = 1,25$ - для схем коммутации скважинных зарядов с поперечным боковым или призматическим врубом).

Объем взрываемого блока (m^3)

$$V_B = H \cdot a \cdot (N_{СКВ} + 1) \cdot [W + b(n - 1)]$$

где a - расстояние между скважинами в ряду, м; $N_{СКВ}$ - количество скважин в ряду.

Объем взорванной породы в развале

$$V_p = V_B \cdot K_p$$

Коэффициент разрыхления можно приблизительно определить по формуле [2]

$$K_p = 1 + (\sqrt{i} - 1) \cdot \frac{n + 1}{2n}$$

где i - степень дробления взорванной горной массы.

$$i = \frac{1,65X_M}{X_{СР.Д}}$$

X_M - среднеарифметическое расстояние между трещинами в массиве по двум взаимно перпендикулярным направлениям, м; $X_{СР.Д}$ - средний диаметр куса породы во взорванной горной массе, м.

Полученные зависимости обеспечивают компактность, простоту и удобство разработки алгоритмов решения задач при компьютерном программировании технологических процессов горного производства на карьерах, определении необходимых размеров рабочих площадок на уступах.

Литература

1. Нормы технологического проектирования предприятий промышленности нерудных строительных материалов. - Л.: Стройиздат, 1988. - 150 с.
2. Нормативный справочник по буровзрывным работам. - М.: Недра, 1986. - 511 с.

ТЕХНОЛОГИЯ И ОПЫТ РАЗРАБОТКИ БОРУССКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЖАДЕИТА

Н.Е. Горшенин, А.А. Казанцев, А.Л. Саруев

Научные руководители профессор Л.А. Саруев¹, главный инженер В.С. Скобельский²

¹Томский политехнический университет, г. Томск, Россия,

²ООО "Томская горнодобывающая компания", г. Томск, Россия

Жадеит-полудрагоценный ювелирно-поделочный камень. В природе хорошо образованные кристаллы жадеита встречаются редко. Цвет жадеита белый, серый, серовато-зеленый, зеленый с различными оттенками, голубой, синий, черный. Прозрачность камня может быть различной: от полупрозрачного и просвечивающегося в тонких сколах до наиболее часто встречаемого - непрозрачного. В настоящее время жадеит имеет широкое применение в ювелирной промышленности и для изготовления изделий художественного назначения, жадеит также используется в технических целях, и в последнее время получил широкое распространение в качестве испаряющих поверхности внутри саун и бань. В России имеется ряд месторождений жадеита, однако лучшие образцы камня добываются за рубежом.

Томская горно-добывающая компания разрабатывает Борусское (Кашкарарское) месторождение камня, которое находится на территории Красноярского края (в Западном Саяне). Месторождение представляет собой сплошное тело - линзу, сложенное жадеитом (жадеитами). Мощность тела составляет около сотни метров. Благодаря геологическому строению местности добыча ведется открытым способом. Запасы жадеита на месторождении оцениваются в 25 тыс. тонн. Отделение блоков камня от массива ведется буроклиновым способом. Особенность технологии состоит в том, что во первых, предъявляются особые требования к блокам

камня по габаритам. Размеры блоков составляют $0,3 \times 1 \times 1$ метров. Это обусловлено необходимостью оценки качества слагающего камни блока. При разработке блоки очищаются от вмещающих пород, некондиционные блоки выбраковываются. Из общей массы камня для ювелирных и поделочных целей пригодны только наиболее чистые включения жадеита. Остальная масса может использоваться при производстве плитки или для других технических и медицинских целей. В целом объем буровых работ требуется значительный – порядка 16 - 25 метров на куб. Во-вторых, порода жадеитов имеет высокую твердость (6,5 - 7 по шкале Мооса, прочность по шкале Протодяконова составляет 16 - 17) и большую вязкость. Вследствие этого бурение шпуров в породах очень осложнено, но более эффективных методов разработки не предложено. Механическая скорость бурения может составлять порядка нескольких метров в час, бурение сопровождается повышенным износом буровых коронок.

На основе опыта добычи Томской горно-добывающей компанией и эксплуатации бурового оборудования предложена следующая технология работ по добыче блоков. Бурение шпуров осуществляется на расстоянии 15 - 20 сантиметров друг от друга (рис., а), диаметром 28 – 32 мм. Диаметр обусловлен существующими на данный момент буровыми коронками. Для бурения следует использовать перфораторы с повышенной энергией удара, порядка 60 Дж, например перфораторы типа ПП163, ПП180. Бурение шпуров ведется на расстоянии 0,3 м от свободной поверхности блока. При бурении целесообразно использовать станки строчного бурения для механической подачи перфораторов и обеспечения ровной строчки шпуров. Для бурения используются долотчатые пластинчатые коронки диаметром до 32мм. Очистка забоя осуществляется в режиме усиленной продувки. Раскалывание пород ведется с использованием составного клина (рис., б). Щеки клиньев имеют конусность от 1:10 до 1:4. Они предохраняют клин от контакта с абразивной поверхностью породы и вследствие этого снижают затраты энергии на забивку клина. Клин забивается на глубину 28 - 30 сантиметров. Забивка клина может происходить вручную, но целесообразно использовать перфораторы для забивки клиньев (расклинивания). Это повышает эффективность работ и снижает затраты физической силы. При расклинивании от массива откалываются блоки требуемого размера. Для откалывания каждого блока забиваются 1-2 клина. Первичная оценка блоков камня происходит на месте работ. Пригодные для переработки блоки или части блоков транспортируются для дальнейшей переработки. Описанная технология позволяет Томской горнодобывающей компании добывать за летний сезон порядка 100 м^3 жадеита.

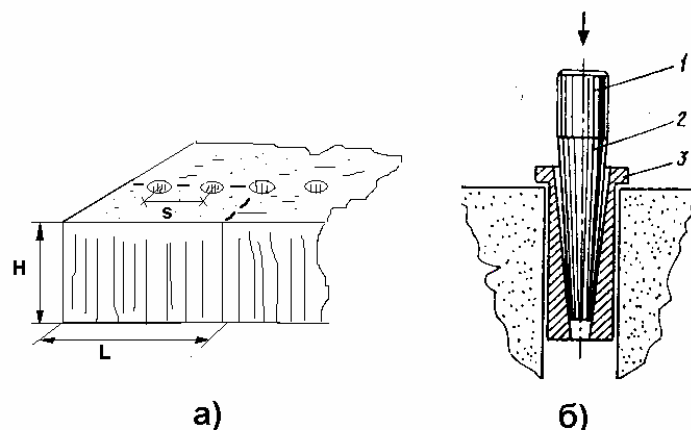


Рис. Технология отделения блоков камня от массива горных пород
а) схема бурения шпуров, б) схема отделения блоков камня клиньями:
1 – боёк (ударник), 2 – клин, 3 – щеки, установленные в шпур

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ШПУРОВ ПРИ ПРОХОДКЕ ГОРНО-РАЗВЕДОЧНЫХ ВЫРАБОТОК

В.П. Григорьев, А.М. Соломаха

Научный руководитель профессор В.Г. Лукьянов

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Ежегодно в Министерстве геологии России проходится около 300 тыс. м подземных выработок.

Из этого объема более 95 % выполняется с помощью буровзрывных работ, затраты времени на которые составляют от 30 до 50 % продолжительности проходческого цикла.

Поэтому приближение планируемых параметров этих работ к рациональным, соответствующим горно-геологическим условиям, будет способствовать повышению эффективности проведения выработок.

Наиболее существенное влияние на трудоемкость буровзрывных работ оказывают такие параметры, как количество, глубина, диаметр шпуров и их расположение в плоскости забоя, способ бурения.

Несмотря на большое разнообразие условий проходки горно-разведочных выработок, параметры буровзрывного комплекса и механизация работ резко не различаются. Бурение шпуров осуществляется перфораторами типа ПП-54, ПП-63, устанавливаемыми на пневмоцилиндрах.

Применение бурильных установок затруднено или невозможно из-за их значительных размеров при небольших средних сечениях (около 5,6 м²) и интенсивной искривленности большинства выработок. Из общего объема пройденных выработок по протяженности более 70% имеют значительную искривленность. Диаметр шпуров 40 – 42 мм и глубина от 1,3 до 2 м (средняя 1,5 – 1,6 м). Вруб в большинстве случаев вертикально-клиновой; в последнее время более широко стали применяться призматические и спиральные врубы. При составлении технических проектов и паспортов буровзрывных работ количество шпуров определяется по одной из общеизвестных формул (М.М. Протодяконова, Н.М. Покровского, А.Ф. Суханова, Л.И. Барона и др.).

В горно-разведочной практике нашли широкое распространение формулы М.М. Протодяконова и Н.М. Покровского. Однако, количество шпуров, рассчитанное по формуле М.М. Протодяконова, превышает удельный расход шпуров на 25-30 % от фактического, а по формуле Н.М.Покровского примерно в два раза.

Рассмотрим формулу для определения количества шпуров, которая дает минимальное расхождение между расчетным и фактическим необходимым количеством шпуров N. Из многолетних наблюдений за ведением взрывных работ в экспедициях ПГО “Севостгеология” при проведении выработок сечением от 4,0 до 6,4 м² в коренных породах и россыпях с коэффициентом крепости f=10 – 18 по шкале М.М. Протодяконова следует

$$N=S \cdot n, (1)$$

где S – сечение выработки, м²;
n – удельный расход шпуров, шт/м²,
n=2,5...4,5.

Сопоставление количества шпуров, вычисленных по формулам (1),

$$\text{М.М. Протодяконова } N = 2,7S\sqrt{f/S}, (2)$$

$$\text{Б.И. Богомолва } N = 2,3S\sqrt{f/S} (3)$$

с данными практики фактически показало, что предлагаемая формула (1) дает наиболее близкие к фактическим необходимым значениям шпуров.

При проведении горизонтальных горно-разведочных выработок сечением от 4,0 до 6,4 м² рекомендуется принимать следующие значения величины n в зависимости от крепости пород: n=2,5 при f=10..11, n=3..3,5 при f=12..16, n=3,6..4,5 при f>17.

При проведении выработок по крепким вязким породам формулу (1) можно записать в упрощенном виде

$$N=4S. (4)$$

При подборе значения n следует учитывать улучшение условий взрывания пород по мере увеличения сечения выработки.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что при определении количества шпуров предпочтительнее производить расчет шпуров по формулам М.М. Протодяконова и Н.М. Покровского.

Литература

1. Лукьянов В.Г., Громов А.Д., Пинчук Н.П. “Технология проведения горно-разведочных выработок”, учебник для ВУЗов, Томск, издательство ТГУ, 1999.
2. Лукьянов В.Г., Громов А.Д., Пинчук Н.П. “Технология проведения горно-разведочных выработок”, учебник для ВУЗов, 2-е изд., Томск, издательство ТГУ, 2004.
3. Известия высших учебных заведений “Горный журнал”, № 10, А.Д. Громов “Определение количества шпуров при проходке горно-разведочных выработок”.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В БУРОВЫХ ШТАНГАХ ПРИ ПРОДОЛЬНЫХ УДАРАХ ПОРШНЯМИ-БОЙКАМИ СТУПЕНЧАТОЙ ФОРМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОМОГРАММ

А.П. Колодин, А.А. Казанцев, А. Л. Саруев

Научные руководители профессор В.Г. Лукьянов, профессор Л.А. Саруев
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Амплитудные значения нормальных напряжений в буровых штангах при продольных ударах любым многоступенчатым бойком можно определить по формуле Ф. К. Арндта [2].

В том случае, если предупредительная скорость бояка неизвестна, например, при проектировании новых ударных узлов, формулу Ф.К. Арндта можно привести к виду:

$$\sigma_{\max} = \sqrt{\frac{2K_1 P_0 A_y S_\sigma}{m_\sigma}} \left[1 + g_1 + (1 - g_1^2) g_2 \right], (1)$$

где P₀ – давление сжатого воздуха в сети, МПа;
A_y – сечение полости ствола ударного узла, мм²;

S_6 – ход бойка, мм;

m_6 – масса бойка, кг;

K_1 – коэффициент потерь энергии, учитывавший степень наполнения цилиндра сжатым воздухом, механические потери, а также изменение температуры сжатого воздуха при оптимальных режимах работы пневматического ударного узла, который для приближенных расчетов можно принимать 0,5 - 0,55 [1].

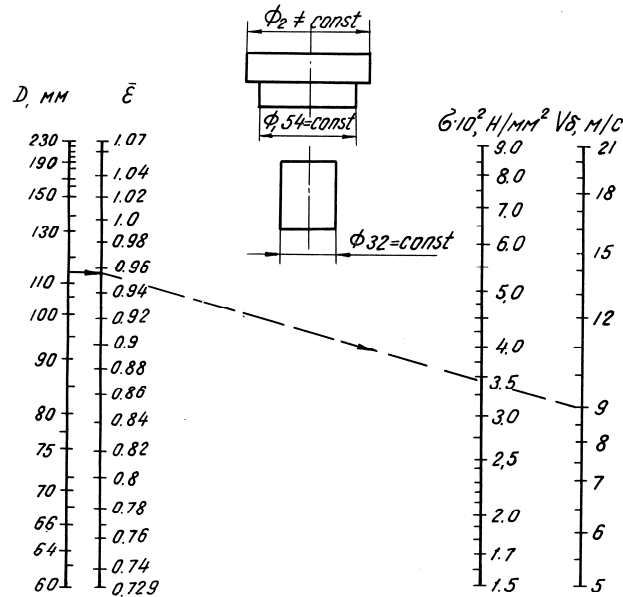


Рис. Номограмма для определения максимальной амплитуды напряжения сжатия при продольном ударе бойком цилиндрической двухступенчатой формы

Известные работы были посвящены расчету по номограммам только основных параметров пневматических бурильных, отбойных и рубильно-клепальных молотков. Расчет параметров ударных узлов и напряжений в штангах предполагается строить на основе формул (1) и (2):

$$W_y = K_1 P_0 A_y S_6 = \frac{m_6 V_6^2}{2}, \quad (2)$$

где W_y – кинетическая энергия бойка, Дж.

Построение номограммы производится по формуле (2). Для удобства пользования номограммой в формуле (2) представим сечение полости ствола ударного узла через его диаметр и после преобразований получим:

$$D_u = \sqrt{\frac{5,1 W_y}{S_6}}. \quad (3)$$

Подставляя принятые значения энергии удара и конструктивного хода бойка, получим расчетные значения диаметра цилиндра ударных узлов.

Вторую номограмму также строим по формуле (2), представленной в виде:

$$m_6 = \frac{2 W_y}{V_6^2}. \quad (4)$$

По заданным параметрам энергии удара и предупредной скорости находим массу бойка.

Максимальную амплитуду напряжения сжатия в штанге при продольном ударе для бойков цилиндрической двухступенчатой формы определяем по номограмме (рис.), построенной по формуле

$$\sigma_{\max} = \bar{\epsilon} \frac{V_6}{a_{um}} E_{um}, \quad (5)$$

где

$$\bar{\epsilon} = \frac{1}{2} [1 + g_1 + (1 - g_1^2) g_2]. \quad (6)$$

В формулах

$$g_1 = \frac{A_{1\delta} - A_{ум}}{A_{1\delta} + A_{ум}} \quad \text{и} \quad g_1 = \frac{A_{2\delta} - A_{1\delta}}{A_{2\delta} + A_{1\delta}},$$

представим сечение A через диаметр для облегчения расчетов по принятым параметрам.

Максимальную амплитуду напряжения сжатия в штанге при продольном ударе для бойков цилиндрической формы определяем по номограмме, построенной по формуле:

$$\sigma_{\max} = \bar{\varepsilon}_1 \frac{V_{\delta}}{a_{ум}} E_{ум}, \quad (7)$$

где

$$\bar{\varepsilon}_1 = \frac{1}{2}(1 + g_1). \quad (8)$$

Следует заметить, что в номограмме введена шкала диаметров полости ствола для определения $\bar{\varepsilon}$ и $\bar{\varepsilon}_1$. Зная $\bar{\varepsilon}$ и $\bar{\varepsilon}_1$, по диаметру полости ствола и скорости бойка легко найти максимальную амплитуду напряжения в штанге.

Таким образом, номограммы позволяют быстро выбирать параметры новых ударных узлов с учетом амплитуд напряжений сжатия в штанге при продольном ударе.

Литература

1. Горбунов В.Ф. Исследование рабочих процессов и вибрации пневматических молотков: Автореф. дис. на соиск. учен. степени д-ра техн. наук – Томск, 1964. – 32 с.
2. Arndt F. K. Der Schlagablauf in Kolben und Stenge beim Schlagenden Bohren-Glückauf, 1960. – Heft 24. – S. 1516-1524.

ПРОГНОЗ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СОЛЯНЫХ ПОРОД ПО ГЕОЛОГИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ ИХ ЗАЛЕГАНИЯ

А.Ю. Лыткина

Научный руководитель профессор В.А. Асанов

Пермский государственный технический университет, г. Пермь, Россия

Опыт ведения горных работ показывает, что условия залегания соляных пород оказывают существенное влияние на их физико-механические свойства.

В целях изучения зависимости механических параметров соляных пород от условий их залегания был выполнен статистический анализ результатов физико-механических испытаний кернового материала подземных геологоразведочных скважин, пробуренных на шахтных полях рудников ОАО «Сильвинит». Исследования взаимосвязей проводились по двум рабочим пластам КрП и АБ сильвинитового состава.

При статистическом анализе использовались: геологическое описание керна геологоразведочных скважин, выполненное работниками геологических служб рудников и результаты определения физико-механических свойств образцов соляных пород, полученные в Горном институте УРО РАН.

В качестве основного показателя, который характеризует механические свойства соляных пород, был принят предел прочности на сжатие ($\sigma_{сж.}$), так как этот показатель используется для определения параметров камерной системы разработки калийных пластов. По результатам анализа научно-технической литературы в качестве влияющих факторов приняты следующие показатели: абсолютная отметка проб ($Z_{пр.}$), по которым определялась прочность, и мощность пласта (M) в точке отбора.

Вся информация была сведена в единую электронную базу данных с привязкой местоположения испытуемых проб по глубине и латерали. Всего в статистическом анализе использовались результаты исследований более 100 скважин. В каждой скважине анализировались средние данные определения механических свойств по 7-10 пробам. Обработка собранных данных производилась в пакете программ «STATISTIKA 6.0».

Статистический анализ начинался с проверки исходных данных на нормальность распределения и принадлежность к одной выборке.

При нахождении зависимостей между исследуемыми параметрами использовалась следующая схема. В начале для каждого пласта строилась корреляционная матрица между пределом прочности и параметрами, характеризующими условия залегания пласта (табл. 1).

Для проверки гипотезы об отсутствии корреляционной связи, которая осуществлялась по каждому коэффициенту корреляции, указанному в матрице, была построена критическая область вида:

$$|r| > t_q \cdot \sigma_r,$$

где r - коэффициент корреляции; t_q - значение q - процентных пределов для распределения Стьюдента в зависимости от степеней свободы и вероятности; σ_r - оценка среднеквадратичного отклонения [2].

Таблица 1

Корреляционная матрица между пределом прочности и параметрами сильвинитовых пластов

Переменные	Пласт КрII, n = 80 скв.			Пласт АБ, n = 72 скв.		
	Z _{пр} , м	M, м	σ _{сж} , МПа	Z _{пр} , м	M, м	σ _{сж} , МПа
Z _{пр} , м	1,00	0,55	0,28	1,00	0,29	0,53
M, м	0,55	1,00	-0,23	0,29	1,00	-0,21
σ _{сж} , МПа	0,28	-0,23	1,00	0,53	-0,21	1,00

Если полученное по данным выборки значение r попадает в указанную область, то с выбранной вероятностью можно считать, что корреляционная связь между рассматриваемыми параметрами имеет место (табл. 2). Оценка среднеквадратичного отклонения находится по формуле:

$$\sigma_r \approx \frac{1-r^2}{\sqrt{n}},$$

где n - количество наблюдений ($n \geq 30$).

Таблица 2

Проверка реальности корреляционных связей

Пласт	Значение коэффициента корреляции, $ r $	Размер критической области	Уровень значимости, p
КрII	0,23	0,21	0,05
	0,28	0,20	0,05
	0,55	0,15	0,05
АБ	0,21	0,19	0,1
	0,29	0,21	0,05
	0,53	0,17	0,05

В результате расчетов выяснилось, что уровень значимости указанных коэффициентов корреляции лежит в приемлемом диапазоне 0,1 – 0,05. Таким образом, с вероятностью 90 – 95 % можно утверждать, что корреляционные связи между прочностью соляных пород, абсолютной отметкой и мощностью пластов имеют место.

Таблица 3

Оценочные значения параметров линейных регрессионных зависимостей прочности соляных пород от величины абсолютной отметки и мощности пласта

Пласт	Оценочные значения параметров регрессионных уравнений			Статистические характеристики		
	b_0	b_1	b_2	R	$F/(f_1f_2)$	p
КрII	39,80437	0,05472	-1,21103	0,53	15,37/(2,77)	0,05
АБ	34,04083	0,05576	-1,19101	0,66	26,11/(2,69)	0,05

После проверки гипотезы об отсутствии корреляционной связи данные обрабатывались в рамках линейной регрессионной модели. С этой целью был использован модуль «Multiple Regression».

В общем случае уравнения связи между прочностью соляных пород и параметрами залегания пласта имеют вид:

$$\sigma_{сж} = b_0 + b_1 Z_{m.p.} + b_2 M,$$

где $\sigma_{сж}$ – прогнозное значение предела прочности по пласту, МПа; b_0 - оценка свободного члена регрессии; b_1 и b_2 – оценки неизвестных параметров; $Z_{m.p.}$ – абсолютная отметка точки расчета, м; M – мощность пласта в точке расчета, м.

В таблице 3 приведены численные значения коэффициентов b_1 и b_2 и статистические параметры, характеризующие тесноту связи и надежность полученных зависимостей (коэффициент множественной корреляции R , значение F - критерия и уровень значимости p).

Статистические характеристики, представленные в таблице 3, показывают, что для исследованных пластов коэффициент множественной корреляции лежит в диапазоне средних значений (0,42 – 0,66). Кроме того, все регрессионные зависимости, каждая из которых учитывает результаты испытаний нескольких десятков

скважин, имеют приемлемый уровень значимости (не более 0,05). Поэтому выявленные закономерности можно использовать только для прогнозных оценок прочностных свойств.

На основе полученных уравнений (табл. 3) были построены прогнозныe карты изменения прочности сильвинитовых пластов АБ и КрII в пределах шахтных полей рудников ОАО «Сильвинит». Их анализ показал хорошую взаимосвязь прочности с рельефом (гипсометрией) пластов. С увеличением абсолютной отметки кровли (или почвы) слоя происходит уменьшение прочности соляных пород на всех рассматриваемых пластах, что хорошо согласуется с выводами, содержащимися в работе [1], где автор отмечает, что в прогибах, которые являются зонами оттока, наблюдаются растягивающие усилия, приводящие к ослаблению пород. На поднятиях, являющихся зонами нагнетания, происходит упрочнение соляных пород.

Следует отметить, что полученные зависимости не учитывают ряд важных факторов (текстурно-структурные особенности строения, влияние внутрисоляных деформаций, химический состав пластов и т. д.), а для повышения информативной достоверности статистических моделей необходимо стремиться к наиболее полному их использованию. Поэтому дальнейшим направлением развития данной работы является поиск закономерностей, учитывающих, по возможности, большее число факторов, влияющих на прочностные свойства соляных пород.

Литература

1. Голубев Б.М. Строение соляной толщи Верхнекамского месторождения. Автореферат. Дис. на соиск. уч. ст. канд. геол.-минер.наук. - Пермь, 1972 г. - 31 с.
2. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики. М, Наука, 1965г., 511 стр.

УСТАНОВЛЕНИЕ РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩЕЙ ФОРМЫ ОТКОСОВ БОРТОВ ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ

Г.Т. Нуршайыкова

Научный руководитель профессор В.Х. Кумыков

Восточно – Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,
г. Усть – Каменогорск, Казахстан

Для выбора рациональных значений конструктивных и технологических параметров рабочей зоны в условиях действующего карьера требуется работать с переменными углами откосов бортов, при которых возможно обеспечить нормативный запас устойчивости массива пород прибортовой зоны. При этом углы откосов должны быть оптимальными по фактору производства горных и добычных работ в управляемом режиме. Это предполагает технологическую устойчивость карьера как сложной динамической системы. Условием обеспечения стабильной работы системы является форма откоса борта карьера, позволяющая стабилизировать производительность карьера, на любом этапе развития горных работ.

Установление ресурсосберегающего профиля, обеспечивающего устойчивость борта карьера является типичной оптимизационной задачей. Для решения этой задачи предложена экономико-математическая модель вида:

$$Z_t^{BP} = (1 + E_n)^{T-t} \cdot \sum_{jk} [(C_{jk}^V + C_{jk}^{TP} + C_{jk}^{OO}) \cdot V_{jk}^B] \rightarrow \min \quad (1)$$

при условиях:

$$V_{jk}^B = Q_{ijk} \cdot n_j \rightarrow \min, \quad (2)$$

$$V_{kj}^{TP} = n_j \cdot \sum_{ijk} Q_{ijk} \cdot l_{ijk}^p + \sum_{jk} V_{jk}^B \cdot l_{jk}^B, \quad (3)$$

$$n_{cp} \rightarrow \min \left\{ \sum_{jk} V_{jk}^B / \sum_{ijk} Q_{ijk}^O \right\}. \quad (4)$$

- где
- | | |
|--------------------------------------|---|
| Z_t^{BP} | - суммарные затраты на производство вскрышных работ в t -ый год, тыс. руб.; |
| $C_{jk}^V, C_{jk}^{TP}, C_{jk}^{OO}$ | - соответственно стоимости выемки, транспортирования 1 м ³ вскрышных пород, вынимаемых из k -го забоя j -го горизонта, и укладки их в отвал, руб.; |
| V_{jk}^B | - объем вскрышных пород j -го горизонта, тыс. м ³ ; |
| Q_{ijk} | - количество рудной массы i -го сорта из k -го забоя j -го горизонта, т; |
| n_j | - слоевой коэффициент вскрыши, м ³ /т; |
| l_{ijk} | - расстояние от k -го забоя с i -м сортом руды j -го горизонта до рудного склада, км; |
| l_{jk} | - расстояние от k -го забоя j -го горизонта до породного отвала, км; |
| n_{cp} | - средний с начала отработки коэффициент вскрыши, м ³ /т; |
| E_n | - нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, $E_n = 0,12$; |
| T | - общее время существования карьера, лет; |
| t | - время на момент производства работ с начала существования карьера. |

Рассматриваются откосы бортов карьеров плоско выпуклого профиля с изломами, высоты которых адекватны стадиям отработки карьерного поля при заданной проектной глубине карьера.

Высота плоско-выпуклого профиля с двумя изломами поделена на три равные части. Углы наклона уступа приняты равными: в подошве - $45 + \rho/2$, в средней части - углу наклона плоского откоса (ρ - угол внутреннего трения пород).

Высота одноступенчатого откоса поделена на два равных участка. Углы откосов уступов участков приняты равными между собой, т.е. $\alpha = \alpha_1 = 45^\circ$ и 38° (рис.). Ширина бермы безопасности одноступенчатого профиля определена по формуле /1,2/:

$$r = H_n \cdot t \cdot m/n, \quad (5)$$

где H_n - высота рабочей зоны, м;
 t - коэффициент; $t = r / \Delta$; $\Delta = h \cdot m$;
 h - высота части (участка) откоса с углом α при основании;
 m - ширина призмы возможного обрушения:

$$m = \sqrt{ctg\alpha \cdot ctg0,5(\alpha + \rho) - ctg\alpha}, \quad (6)$$

n - количество участков откоса с постоянным профилем.

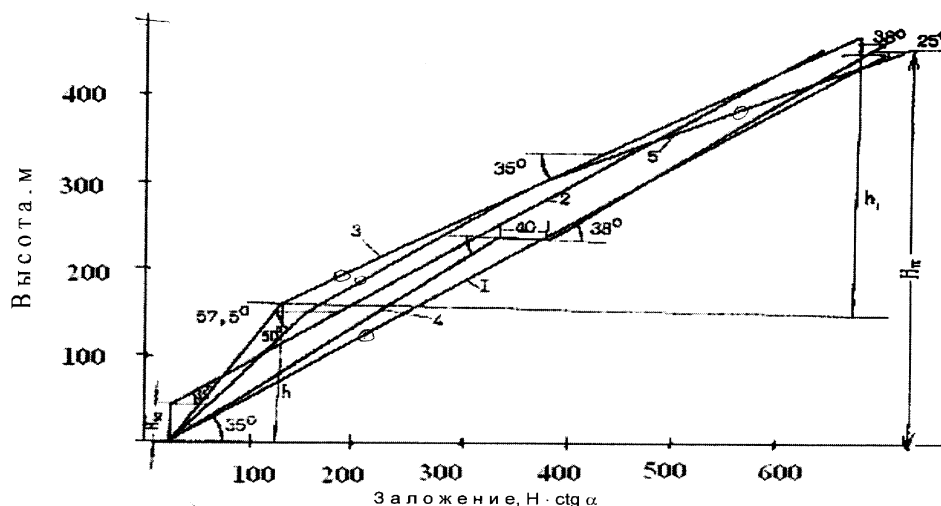


Рис. Схема к оптимизации профиля пород при глубине карьера 480 м

Предельную высоту ступенчатого профиля с плоской поверхностью скольжения, проходящей по наиболее ослабленной зоне с углом наклона ψ , определяем по уточненной формуле вида:

$$H_n = H_{90} / \left[1 - \sqrt{1 - (1 - ctg\alpha_3 \cdot tg\psi) \cdot \lambda_c} \right]^{-1}, \quad (7)$$

где H_n - предельная высота откоса в однородной среде изломанного профиля, м;
 H_{90} - глубина трещины отрыва по вертикали, м;
 $ctg \alpha_3$ - котангенс эквивалентного угла наклона ступенчатого профиля, приведенного к плоской форме откоса, град.;
 λ_c - коэффициент, учитывающий форму откоса:

$$\lambda_c = 1 - (\operatorname{ctg} \alpha_3 - \operatorname{ctg} \alpha) \cdot (\operatorname{ctg} \psi - \operatorname{ctg} \alpha)^{-1}, \quad (8)$$

$$\operatorname{ctg} \alpha_3 = \operatorname{ctg} \alpha + (1 - n^2) \cdot (\operatorname{ctg} \alpha - \operatorname{ctg} \alpha_1), \quad (9)$$

где ψ - угол наклона потенциальной плоскости приведенной поверхности скольжения в наиболее ослабленной зоне массива.

$$\psi = (\alpha_3 + \rho)^{-2} + (\alpha - \alpha_3) / 1,5n, \quad (10)$$

Таким образом, плоско-выпуклый профиль откоса борта рабочей зоны карьера, обеспечивая устойчивость и создавая безопасные условия работы людей и технологического оборудования, признается наиболее экономичным. Уменьшение объема вскрышных работ по сравнению с плоским профилем для условий карьера № Жайремской группы составляет 25,3 тыс. м³.

Литература

1. Кумыков В.Х. Токмурзин О.Т. Определение границ карьеров с учетом устойчивости бортов // Передовая технология горных работ в цветной металлургии. – Усть-Каменогорск, 1986. – с. 96 – 102.
2. Токмурзин О.Т., Ипалаков Т.Т. Напряженное состояние откосов и устойчивость бортов карьера. – Алма-Ата: КАЗНИИНТИ, 1991. – 81 с.

GPS–ПРИЕМНИКИ И ОПЫТ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ПРИВЯЗКИ АРХИТЕКТУРНЫХ ПАМЯТНИКОВ ГОРОДА ТОМСКА

В.Д. Покровский¹, А.В. Гусев²

Научный руководитель профессор Е.М. Дутова

¹Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

²Лицей при Томском политехническом университете, г. Томск, Россия

GPS (global position system - система глобального позиционирования) создана министерством обороны США. Основные принципы работы системы просты и состоят в определении местоположения объекта (в данном случае, GPS–приемника) путем измерения расстояний от точек с известными координатами – спутников. В корпусе прибора, выполняющего измерения, размещены многоканальный приемник высокой чувствительности, мощный микроконтроллер, интегрированная антенна, приемо-передатчик Bluetooth и Li-ion аккумуляторная батарея [1]. Собственно, это малогабаритный специализированный компьютер, предназначенный для обработки сигналов, поступающих со спутников, и расчета географических координат. Расстояния вычисляются по времени распространения сигнала от спутника к приемнику. Для определения трехмерных координат приемник должен «видеть» не менее четырех спутников [2].

Проведенный нами анализ рынка GPS приемников свидетельствует о его чрезвычайном разнообразии и позволяет разделить существующие приборы по соотношению «цена – возможности» и подчеркнуть их достоинства, недостатки и удобство в обращении (таблица).

Сегодня пользователь может выбрать именно то, что ему нужно, и найти самые различные по ценовым категориям и функциональным возможностям модификации приборов: от наиболее простых, как, например, в мобильных телефонах, до сверхточных, позволяющих определять координаты с точностью до сантиметров.

Область применения GPS–приёмников чрезвычайно разнообразна, они применяются при строительстве и обслуживании различных гражданских и промышленных сооружений, для привязки геологоразведочных и горнодобывающих объектов, позволяют оперативно определять площади загрязнения при авариях и разливах нефти, дают возможность надежно ориентироваться на местности в геологических маршрутах и т.д. Мы использовали их для определения координат архитектурных памятников [3] при изучении влияния на них процессов техногенного подтопления, развивающихся на территории г. Томска [4, 5].

В нашем распоряжении было 2 модели GPS приёмников: GPS 12 и Garmin Legend. Первый из них относится к разряду доступных и наиболее дешевых приемников, удобен при работе в сложных погодных условиях, т.к. обладает водонепроницаемым и ударопрочным корпусом, но возможности его невелики (низкая, хотя и достаточная для наших целей, точность). У приемника Garmin Legend набор возможностей гораздо шире: более высокая точность, возможность вставлять и сохранять в памяти необходимые карты, маршруты и полученную информацию.

В процессе работы нами были определены координаты порядка пятидесяти архитектурных памятников. Эта информация была использована при организации электронной базы данных для информационно-поисковой системы, позволяющей оперативно получать информацию о гидрогеологических условиях любой произвольно выбранной точки городской территории, в том числе и участков расположения памятников архитектуры, и выявлять первоочередные объекты для выполнения реставрационных работ [6, 7].

Обзор рынка GPS приемников

Ценовая категория, до \$	Модель	Возможности	Достоинства	Недостатки	Оценка
130	Magellan Blazer 12	Имеет три экранные страницы для показа координат, азимута, стрелочного индикатора направления движения, расстояния, скорости	Дешевизна, малые размеры и вес, экономичность, простота использования	Память на 1 маршрут, нет съемных flash карт, батарея на 24 часа, рабочая температура >0°C	Один из наиболее дешевых и простых GPS-приемников
200	eTrex, GPS 12 и Magellan 300	Сохранение маршрута движения	Ударопрочный и водонепроницаемый корпус	Не имеет карты	Удобный, но не очень функциональный приемник
	Magellan Platinum	Сохранение маршрута движения, информация о спутниках, встроенная помощь, определение азимута солнца и построение вертикального и горизонтального профиля движения, поиск по адресу	База данных, барометр, фиксирование до 20 маршрутов, резиновое покрытие, большой дисплей	Не имеет русского языка и базы данных для России	Очень удобный и функциональный приемник
300	Magellan GPS 315	Приемник: 12 параллельных каналов. Корпус: герметично заварен, плавает. Экран: растровый 104x160, с подсветкой. Регистрация трассы: 1 точка/сек. Память 20 маршрутов по 30 отрезков каждый, база городов	Умеренная цена, встроенная база городов, малые размеры и вес, экран высокого разрешения с градациями серого, звуковой сигнал	Не имеет карты	Недорогая, малогабаритная модель с растровым экраном, имеющая все основные функции
	eTrex Venture	Одна и та же линейка с Magellan GPS 315, GPS 12XL	Встроенная база данных по городам, то есть набор точек с названиями	Не имеет карты	
	GPS 12XL	Одна и та же линейка с Magellan GPS 315, eTrex Venture	К GPS 12 XL можно подключить выносную антенну	Не имеет карты	Громоздкая, но функциональная модель
400	eMap	Карты, в продаже имеются даже карты России, возможность подключения внешней антенны	Наличие дополнительной памяти, в которую можно загружать полноценные векторные карты, разъем для картриджей флэш-памяти	Низкая влагозащищенность	Из-за низкой влагозащищенности использовать эту модель рекомендуется лишь автолюбителям
500	StreetPilot	Расширенны функции для работы в автомобиле	Флэш-память, карты.	Карты только для США,	Прекрасный приемник для автолюбителей
1200	StreetPilot ColorMap	Расширенны функции для работы в автомобиле	16-цветный дисплей повышенной четкости и улучшенная базовая карта		

Литература

1. <http://www.handy.ru/print.html?id=6064>.
2. Инженерная геодезия. Учеб. для Вузов/ Ключин Е.Б., Киселев М.И. и др. М.: Высшая школа, 2000. 464 с.
3. Сводный список памятников истории и культуры г.Томска и Томской области. – Томск, 1981.
4. Покровский Д.С., Кузеванов К.И. Гидрогеологические проблемы строительного освоения территории г. Томска // Обской вестник. – 1999. – № 1 – 2. – С. 96 – 101.
5. Кузеванов К.И. Гидрогеологическая основа экологических исследований города Томска // Обской вестник. – 1999. – № 1 – 2. – С. 53 – 58.
6. Покровский В.Д. Процессы подтопления на территории города Томска. /Материалы городской научно-практической конференции-школьников по экологии и географии в рамках проекта «Юные дарования – Томску», посвященного 400-летию г. Томска. – Томск, 2004. – С. 129 – 130.
7. Покровский В.Д. Геоинформационные системы – технологии настоящего и будущего / Материалы седьмой региональной конференции – конкурса исследовательских работ старшеклассников. – Томск: Издательство «Дельтаплан», 2006. – С. 193.

ВЗРЫВНЫЕ МЕТОДЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТОВ

Р.З. Сулейманов

Научный руководитель старший преподаватель В.А. Шмурыгин
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Все методы, направленные на интенсификацию нефтеотдачи пластов имеют 2 основные цели [2]:

- установление устойчивой связи скважины с пластом;
- обеспечение эффективности различных мероприятий, используемых для увеличения притока флюидов.
- Данные цели достигаются за счет решения следующих задач:
- очистка призабойную зону пласта;
- увеличение проницаемости пласта путем создания новых и расширения старых каналов.

Методы по интенсификации можно условно разделить на 4 группы:

- химические методы (кислотная обработка пласта);
- физические методы (гидро разрыв пласта, газопульсный разрыв пласта, разрыв пласта пороховыми газами);
- термохимические методы (это метод термогазохимического воздействия и термокислотная обработка);
- физико-химические методы.

К наиболее часто применяемым невзрывным методам относят: тепловую обработку, термохимическую обработку, кислотную обработку, гидро разрыв пласта и др.).

Кислотная обработка – ее главное назначение – очистка призабойной зоны пласта от загрязнений, основанная на химической реакции кислоты с породами. Различают простую обработку (воздействует на пласт в радиусе зоны проникновения бурового раствора), массивную (проникает на десятки метров от скважины), направленную (для равномерности трещиноватости), многократную обработку (т. е. несколько обработок) и пенокислотную (где вместо обычного раствора в скважину закачивают смесь кислотного раствора, ПАВ и газа).

Гидро разрыв пласта. Заключается в создании сети трещин посредством давления. Это давление создается закачкой в пласт высоковязких жидкостей.

Технология ГРП состоит из этапов: выбор объекта (гидродинамические исследования скважины), затем подготовка скважины (определяют ее приемистость), далее производят непосредственно разрыв пласта (закачка жидкости-разрыва), затем крепятся трещины (за счет жидкости-песконосителя с проппантом), и в конце – заключительные работы (промывка скважины,

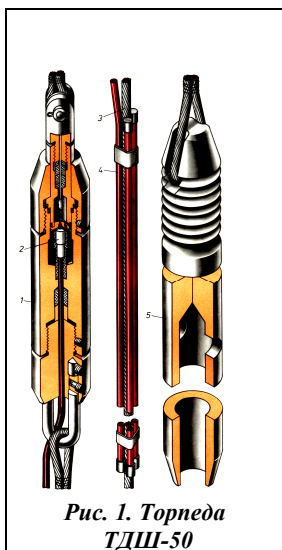


Рис. 1. Торпеда ТДШ-50

очистка от песка и освоение) [1].

По характеру воздействия на продуктивный пласт различают следующие виды ГРП: однократный (создаются трещины длиной 10-20 м), многократный/селективный (трещины 40-60 м) и массивный (свыше 1000 м).

Газопульсный разрыв пласта. Он создает в призабойной зоне пласта сети трещин за счет импульсного циклического воздействия газовых струй под высоким давлением.

Виброволновые методы. Основаны на воздействии знакопеременных нагрузок на призабойную зону пласта. Принцип работы заключается в генерировании автоколебаний, которые создаются в вихревых элементах при подаче технологических жидкостей.

В практике повышения нефтеотдачи пластов перечисленные и некоторые другие виды обработок применяются в комбинированном виде (термическая и химическая обработка, гидро разрыв пласта и кислотная обработка, и др.).

Что касается взрывных методов, то в первую очередь коснемся *фугасного торпедирования*. Оно проводится при помощи торпед и основано на фугасном действии взрыва.

Различают торпедирование небольшими зарядами (торпеды ТДШ (рис. 1) с массой ВВ 10-200 г на метр длины ствола); средними (5 – 7 кг), и большими (достигающими несколько тонн).

Технология торпедирования состоит из этапов: 1 – подготовка скважины, проверка ствола, инструктаж рабочих; 2 – сборка торпеды из конструктивных составляющих; 3 – торпеду спускают, отсоединяют и устанавливают цементный мост. Чтобы зафиксировать взрыв устанавливают сейсмическую станцию. После взрыва цементный мост разрушают и проводят заключительные работы [3].

Проведение многократной кислотной обработки сопряжено со снижением притока нефти. Использование торпедирования в комплексе с данной обработкой позволяет увеличить дебит (на рис. 2 показано изменение дебита с течением времени, цифрами отмечены кислотные обработки – перед четвертой обработкой было проведено торпедирование).

Следующая группа взрывных методов – *методы термогазохимического воздействия*. Заключаются в разрыве пласта импульсным силовым воздействием высокоэнергетических продуктов горения твердотопливных и жидких горюче-окислительных составов. Горение пороховых зарядов создает газы, которые и воздействуют на призабойную зону пласта через температуру и давление. Используют пороховые генераторы давления (позво-



Рис. 2. Изменение дебита с течением времени

ляют создать трещины, рис. 3), и аккумуляторы давления (служат непосредственно для термогазохимической обработки пласта).

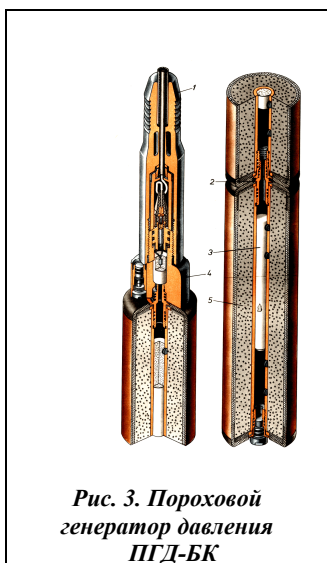


Рис. 3. Пороховой генератор давления ПГД-БК

К взрывным методам увеличения нефтеотдачи пластов, применяемым в современной нефтедобывающей практике, относятся также интенсифицирующие комплексные перфосистемы для вторичного вскрытия пластов на вновь вводимых скважинах и стимуляции уже эксплуатирующихся скважин: система "Перфоген", комплексный аппарат воздействия, генератор давления, комплекс для локального газодинамического разрыва.

Двухмодульная перфосистема "Перфоген".

Состоит из перфораторного модуля на основе корпусного перфоратора и газогенераторного модуля. Технология состоит из процедур: кумулятивная перфорация, газодинамическая обработка ПЗП пороховыми газами и импозивное воздействие на пласт за счет мгновенной депрессии.

Основные особенности данной системы:

- Направленность процесса (из-за фокусированного воздействия импульса давления пороховых газов).
- Наименьшая аварийность (за счет снижения взрывных нагрузок на эксплуатационную колонну и цементный камень).
- Многократность использования корпуса (что снижает стоимость каждого залпа, и, следовательно, общую стоимость работ).
- Наименьшая засоряемость скважин при прострелочно-взрывных работах (остатки от зарядов и шлам собираются за счет импозивного эффекта в нижней пороховой камере корпуса перфоратора).

Малогабаритный комплексный аппарат воздействия (МКАВ).

МКАВ предназначен для вторичного вскрытия продуктивных пластов кумулятивной перфорацией с одновременным воздействием на перфорационные каналы импульсом давления и пороховыми газами, без подъема НКТ, в том числе и в действующих скважинах эксплуатирующихся фонтанным способом.

Особенности данной системы следующие:

- Экономическая эффективность проведения работ (не требуется проведение глушения скважины и привлечение бригады КРС, остановка эксплуатации скважины).
- Проведение данных работ становится эффективнее, если использовать лубрикатор большой полезной емкостью (длиной) для нормального размещения полноценной сборки МКАВ.

Малогабаритный генератор давления.

Малогабаритный генератор предназначен для повышения производительности добывающих и нагнетательных скважин путем создания системы остаточных трещин в прискважинной зоне пласта. Основное их применение – обработка работающих интервалов с уже достаточно высокой плотностью перфорации (от 20-25 и более отверстий на метр).

Преимущества:

- Отсутствует необходимость подготовки скважины к проведению ПВР, привлечения бригады КРС.
- Экономически выгодное использование: не предусматривает какое-либо вмешательство в режим работы фонтанирующей скважины, нет потери добычи.

Мобильный комплекс для локального газодинамического разрыва пласта с использованием зарядов ЗГРП.

Комплекс предназначен для обработки прискважинной зоны пласта нефтегазовых добывающих и нагнетательных скважин.

Локальный разрыв продуктивного пласта в нефтяных и газовых скважин основан в большей мере на механическом и в меньшей - на тепловом и химическом воздействии пороховых газов на горные породы и флюиды.

Главные особенности:

- Мгновенное высокое энергетическое импульсное воздействие (за счет пороховых газов, выделяющихся при сгорании секций заряда на основе ракетного баллистного топлива).
- Большая эффективность по сравнению с традиционными твердотопливными пороховыми генераторами давления из-за совершенно новой конструкции заряда (наличие специальной внутренней поверхности для быстрого распространения горения и открытых боковых и торцевых поверхностей зарядов) и измененного состава применяемого баллистного топлива.
- После обработок ЛГРП наблюдается стабилизация, а в некоторых случаях уменьшение обводненности продукции на длительный период эксплуатации.

Подведем итоги. Что касается невзрывных методов интенсификации, то их использование ограничивается затратами ресурсов: как времени, так и средств. Несмотря на это, их применение остается предпочтительным в определенных физико-геологических и гидродинамических условиях.

Взрывные методы оправдали себя в плане целого набора аспектов:

- значительное сокращение стоимости проведения работ, времени и средств на освоение скважины;
- меньший износ подземного оборудования;
- соизмеримая эффективность проводимых работ;
- момент по поводу качества продукции: достигается стабилизация (а в некоторых случаях и уменьшение обводненности).

В заключении отметим, что, несмотря на то, что взрывные методы в настоящее время используются нечасто, их применение представляет большой интерес с точки зрения интенсификации нефтеотдачи. Взрывные методы обладают очевидными преимуществами по сравнению с традиционным гидравлическим разрывом пласта и другими методами воздействия – этот факт позволяет сделать закономерный вывод, что применение взрывных методов весьма оправдано в современных условиях.

Литература

1. Добрынин В. М., Вендельштейн Б. Ю., Резванов Р. А., Африкян А. Н. Промысловая геофизика: Учебник для вузов. – М.: ФГУП Издательство "Нефть и газ" РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2004.
2. Ловля С. А. Прострелочно-взрывные работы в скважинах. Учебник для вузов. – М.: Недра, 1987.
3. Щукин А. А. Строительство скважин: учебное пособие / А. А. Щукин. — Томск: STT, 2005.

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОВИНЧЕСТЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПРОКЛАДКИ ТРУБОПРОВОДОВ БЕСТРАНШЕЙНЫМ СПОСОБОМ

В.Ю. Тимофеев¹

Научные руководители доцент А.В. Рудаченко¹, В.В. Аксенов²

¹Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

²Институт угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия

На ближайшие 5–10 лет планируется наращивание добычи нефти и газа за счет вводимых крупных месторождений, которые расположены на Дальнем Востоке, в Западной Сибири, а также на шельфах арктических морей, т.е. географически месторождения значительно удалены от большинства потребителей [1, 2]. Удаленность месторождений обуславливает развитие трубопроводного транспорта, а также необходимость замены уже имеющихся магистралей. При прокладке трубопроводов приходится преодолевать различные горно-геологические и природно-климатические условия, что влечет за собой развитие новых технологий прокладки трубопроводов. В настоящее время разработаны различные технологии прокладки трубопроводов как траншейным, так и бестраншейным способом. Сравнивая траншейный и бестраншейный способы необходимо отметить, что при прокладке, например коллекторных тоннелей, по техническим и экономическим факторам глубина, с которой эффективным является бестраншейный по сравнению с траншейным, составляет 6...8 м [3], поэтому выбор того или иного способа прокладки трубопровода зависит от конкретных горно-геологических и природно-климатических условий. Следует отметить также, что существуют условия, при которых затруднительно найти альтернативу бестраншейному способу прокладки, например при преодолении искусственных и естественных препятствий (дорожные насыпи, здания, холмы, водные преграды и т.п.). Анализируя существующие способы прокладки трубопроводов под естественными и искусственными препятствиями, такие как: микрощитовая проходка, наклонно-направленное бурение, траншейная укладка трубопровода, вибропрокол и т.д., приходим к выводу, что данные технологии имеют как очевидные преимущества, так и недостатки, связанные с ограниченностью диаметра и длины выработки, ограниченностью по грунтовым условиям, а также сравнительно небольшие скорости проходки. В настоящее время одним из распространенных методов прокладки трубопроводов является метод укладки основного трубопровода в футляр – трубопровод большего диаметра. Данный метод весьма перспективен т.к. в дальнейшем для прокладываемого трубопровода имеется возможность обслуживания, т.е. контролирования его состояния. Ограничение по диаметру является существенным сдерживающим фактором развития способа прокладки трубопроводов в футляре, т.к. диаметр футляра больше диаметра основного трубопровода в среднем в 1,5 – 2,5 раза и составляет около 2 – 3 м. Однако применение вышеперечисленных методов при прокладке трубопроводов большого диаметра ведет к повышению стоимости проходки, поэтому есть необходимость применения новых более производительных способов, таких как геовинчестерная технология (ГВТ) проведения горных выработок [4].

Геовинчестерная технология является сравнительно новым способом проведения горных выработок, теоретические основы ГВТ разработаны в 80-х годах прошлого столетия. Основная идея ГВТ состоит в том, что процесс механизированного проведения горных выработок производится с формированием и использованием системы законтурных винтовых и продольных каналов, по которым как в соединении винт–гайка перемещается проходческий агрегат, имеющий на наружной поверхности винтовую лопасть. При данной технологии операции по разработке забоя, уборке горной массы, креплению выработанного пространства, а также перемещению всей проходческой системы на забой осуществляются в совмещенном режиме, т.е. одновременно и непрерывно. Основным элементом геовинчестерной технологии является щитовой проходческий агрегат – геход (винтоповоротный проходческий агрегат (ВПА). Геход – новый класс горнопроходческой техники [5], данный агрегат проводит горную выработку круглого сечения с возможностью крепления пройденной выработки различными способами. Теоретически геход и ГВТ при соответствующей доработке можно применить для бестраншейной прокладки трубопроводов, к тому же технологически ГВТ имеет сходства с технологией микротоннелирования микрощитами и с технологией щитовой проходки. Данная технология имеет целый ряд преимуществ по сравнению с микротоннелированием: повышается скорость проходки за счет совмещения операций, высокая предрасположенность к автоматизации операций, имеется возможность проведения выработок с любым расположением в пространстве и управление направлением проходки, агрегат работает без упора в постоянную крепь, незагроможденность призабойной зоны станиной исполнительного органа.

На сегодняшний день имеются сведения о двух изготовленных экспериментальных образцах ВПА, один из которых диаметром 3,4 м – ЭЛАНГ-3, другой диаметром 4,2 м – ЭЛАНГ-4НР. На рис. 1 представлена схема ВПА ЭЛАНГ-4НР [5]. Конструкция гехода представляет собой цилиндрическую секционную оболочку 1, забойная часть которой перекрывается диафрагмой 2, в которую вмонтированы режущие ножи 3.

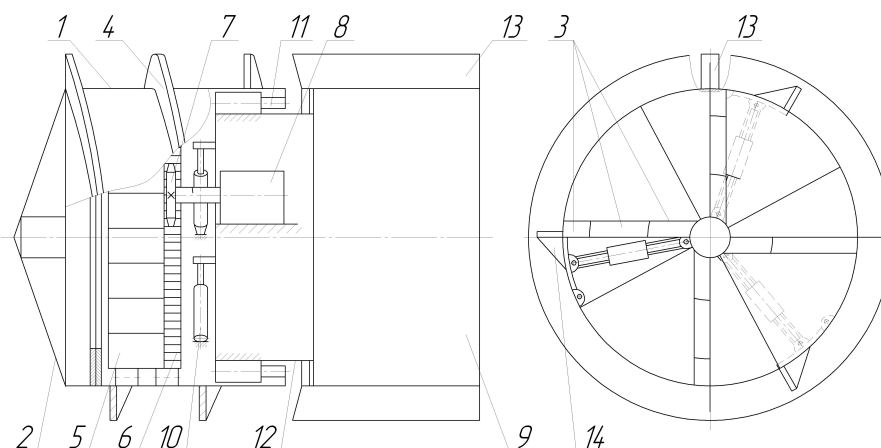


Рис. Схема ВПА ЭЛАНГ-4НР

Совокупность режущих ножей представляет собой режущий исполнительный орган, который состыковывается с секцией 1. На секции 1 выполнена винтовая лопасть 4, внутри секции расположен породоборочный орган в виде роторного погрузчика 5. Погрузчик 5 приводится во вращение от гидродвигателя 8 через звездочку 7 и цевочную рейку 6. Секция 1 сопрягается с концевой секцией 9 в единое целое с возможностью проворота посредством механизма вращения, который состоит из гидроцилиндров 10, приближение концевой секции 9 к секции 1 обеспечивается гидроцилиндрами надвига 11. В качестве стыковочного узла используется цилиндрический стакан 12, имеющий несколько меньший диаметр. На внешней поверхности секции 9 имеется стрингеры 13, плоскости которых параллельны образующим секции. Принцип работы геохода следующий: при поступлении рабочей жидкости под давлением поршневые полости гидроцилиндров 10 происходит выдвигание штоков, т.к. штоки гидроцилиндров связаны с секцией 9, а сами цилиндры связаны с секцией 1, происходит силовое взаимодействие двух секций с вмещающей породой. Стрингеры 13 удерживают секцию 9 от проворота, при раскладывании цилиндров 10 происходит вращение секции 1. Винтовая лопасть 4, взаимодействуя с вмещающими породами, трансформирует вращение в винтовое движение. С винтовой секцией 1 жестко соединен исполнительный орган, который в результате вращения своими ножами срезает стружку (разрабатывает забой). После завершения цикла гидроцилиндры 10 складываются и одновременно с этим включаются гидроцилиндры надвига 11, которые увлекают концевую секцию 9, преодолевая усилие внедрения стрингеров 13 и сопротивление трения оболочки. Затем цикл повторяется. Исполнительный орган оснащен устройствами для управления агрегатом по курсу движения – копир-ножами 14. Принцип их действия основан на использовании винтового движения головной секции 1. Устройство, вращаясь заодно с секцией, в требуемом участке срезает стружку предварительно выдвинутым ножом, операция выдвигания ножей на требуемом участке и их складывания повторяются, в результате чего выбирается радиальная полость, в которую постепенно смещается весь агрегат. Порода отделенная исполнительным органом высыпается в погрузчик 5, затем для ее уборки в агрегат помещается откаточная емкость или конвейер (на рисунке не показан).

Использование геохода в качестве агрегата для прокладки трубопроводов требует его конструктивной переработки и формирование совокупности требований к новому агрегату:

- корпус агрегата должен иметь внешний движитель, активно взаимодействующий с геосредой;
- оборудование должно обеспечивать совмещенное и непрерывное выполнение операции по разработке и уборке породы, перемещение агрегата на забой, протягивание трубопровода, при этом трубопровод одновременно является крепью прокладываемой горной выработки;
- геоход должен иметь возможность маневренности не менее чем в двух плоскостях;
- все функциональные элементы проходческой машины должны быть смонтированы на одной конструктивной базе;
- величина усилий, передаваемых на исполнительный орган, должна соответствовать усилиям необходимым для разрушения пород той крепости, в которой перемещается агрегат и не зависеть от массы машины, а также усилие должно обеспечивать перемещение прокладываемого трубопровода вслед за агрегатом;
- агрегат должен иметь возможность реализации всех особенностей технологии бестраншейной прокладки трубопроводов;
- надежность агрегата должна обеспечивать его многократное использование.

Требования по производительности, энерговооруженности, ремонтпригодности на данном этапе не рассматривались.

В ходе анализа требований представляются возможными следующие пути их реализации: внешний движитель представляет собой основной отличительный элемент геохода – винтовую поверхность на головной секции. Совмещение операций должно быть реализовано за счет конструктивной увязки всех элементов геохода.

Разработка породы может осуществляться сменными ножевыми, фрезерными либо любым другим видом исполнительного органа, в зависимости от крепости породы, маневренность геохода обеспечивается копир-ножами.

Функциональные элементы проходческой машины: исполнительный орган, погрузочный механизм, привод размещаются в головной секции, в концевой секции размещаются элементы управления и устройство крепления трубопровода к геходу. Головная и концевая секции конструктивно объединяются с возможностью взаимного проворота.

Величина усилий, передаваемых на исполнительный орган, зависит от типа трансмиссии привода. Существующий в настоящее время привод агрегата ЭЛАНГ-4НР с гидроцилиндрами обеспечивает необходимые усилия, но имеет существенные недостатки: сложность синхронизации действия всех гидроцилиндров, запутывание рукавов высокого давления в процессе вращения головной секции, а также неизбежность перекоса штока и поршня в цилиндре вследствие продвижения вперед головной секции, а также наличие большого количества гидроцилиндров значительно снижает его надежность. Однако в виду того, что диаметр агрегата для прокладки трубопровода меньше чем диаметр агрегата ЭЛАНГ-4НР, то для его привода возможно использование других видов трансмиссий, например механическая передача, электродвигатель, либо привод при помощи гидромотора и т.п. Особое внимание следует уделить рассмотрению в качестве привода механической передачи с промежуточными телами качения, т.к. данные передачи обладают большой нагрузочной способностью. Также возможен вариант силового разделения привода, в том случае, например, когда усилие на приводе гехода обеспечивает отделение породы, его перемещение вперед, транспортировку породы, а усилие по «проталкиванию» трубопровода вслед за геходом обеспечивается отдельным приводом на поверхности, например гидроцилиндрами.

Отдельным элементом ГВТ является непосредственно технология применения данного агрегата. В качестве основы для разработки технологии применения можно принять технологию микротоннелирования, однако, несмотря на внешнюю схожесть, имеются отличия из-за различных подходов к способу продвижения в геосреде.

Литература

1. Перспективные направления развития трубопроводного транспорта в России / Лаврентьев Е. А. // Потенциал. – Б.м. – 2004. – N 4. – с. 22 – 29.
2. Проблемы микротоннелирования / И.Г. Дерфель // Российское общество по внедрению бестраншейных технологий, 1999, № 3. – с. 3.
3. Строительство подземных сооружений с помощью проходческих щитов. С.А. Маршак, В.П. Самойлов. Изд-во «Недра», 1967 г. – С. 210.
4. Аксенов В.В. Геовинчестерная технология проведения горных выработок. – Кемерово: Институт угля и углехимии СО РАН. – 2004. – 264 с.
5. Экспертная оценка влияния особенностей нового класса горнопроходческой техники на методику расчета его параметров В.Ф. Горбунов, В.В. Аксенов, В.Ю. Садовец. Вестник Кузбасского Государственного Технического Университета. – 2004. – № 6.1. – С. 43 – 45.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ФАБРИКИ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД

Д.В. Федин

Научный руководитель доцент В.Г. Крец

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Существует проблема согласования пропускных способностей обогатительного оборудования на разных этапах технологического процесса. Из-за недостаточной мощности отдельных машин на полиметаллической фабрике могут возникнуть простои. Поэтому технологам приходится запускать фабрику, ориентируясь на возможности менее мощной машины, из-за чего предприятие несет определенные убытки, в виде неиспользованных резервов. Решение этой проблемы позволит увеличить эффективность работы фабрики и снизить экономические затраты [1]. Одним из путей решения выше означенной проблемы является применение различных методов моделирования. В данном случае используется метод моделирования транспортных потоков с помощью электрических схем, позволяющих оптимизировать технологические процессы обогатительной фабрики, которые заменяются электрическими моделями. Элементы этих моделей по характеристикам (электрическим) соответствуют процессам в обогатительном производстве. На рис. 1 показаны основные технологические процессы фабрики по измельчению полиметаллических руд. Схема использована для обогатительной фабрики Восточно-Казахстанской области (п. Белоусовка), которая характеризуется небольшими объемами перерабатываемой продукции 22-24 т/ч и потребляемой мощностью 210-220 кВт [4].

Моделирование технологических процессов находит применение на практике в различных отраслях промышленности [5]. В данной работе мы использовали методику электрического моделирования технологических процессов вышеуказанного автора для решения поставленной нами задачи: “Оптимизация технологических процессов фабрики по переработке полиметаллических руд”.

При проектировании (задача синтеза) небольшой фабрики (а таковые приходится создавать всё чаще, в силу низких содержаний и небольших объёмов месторождений руды) инженер может сначала установить электрическую модель и при помощи реостата, меняя ток на каждом участке компоновать оборудование, меняя мощности отдельных машин, устанавливая ток согласно справочным данным по каждому переделу. Помимо этого, модель может использоваться для повышения эффективности работы других фабрик и предприятий, имеющих технологические процессы аналогичные с процессами в обогатительном производстве, то есть решать задачи анализа [2, 3].

Используя известные подходы методов электрического моделирования, представим основные процессы обогатительной фабрики в виде ориентированного графа (рис. 2), где 1 обозначен первый узел переработки руды

(подача руды), номером 5 конечный узел переработки (получение готовой продукции – свинцового концентрата), номерами 2, 3, 4 – промежуточные узлы переработки руды. На схеме участок 1,2 – это флотация, 1, 5 – пески, 2, 5 – свинцовый концентрат, 2, 3 – классификация, 3, 2 – измельчение в шаровой мельнице, 3, 4 – флотация, 4, 2 – свинцовый продукт, 4, 5 – хвосты на цинковую флотацию. Направление движения руды указано стрелками. Каждый участок фабрики (определенное оборудование) может пропустить за единицу времени не более определённого числа тонн руды. Назовём это число пропускной способностью, и будем считать его известным для каждого из участков пути (для каждого оборудования). (Пропускную способность оборудования мы берём из справочных данных по каждому передлу.) Пропускную способность участка, ведущего из пункта i в пункт j (участка $i-j$), обозначим через a_{ij} (Т/час). Так как пропускная способность первой машины измельчения руды и классификации наибольшая из всех возможных пропускных способностей фабрики (то есть поток внутри данных участков равен общему потоку руды на фабрике), то пропускную способность данных участков мы не учитываем.

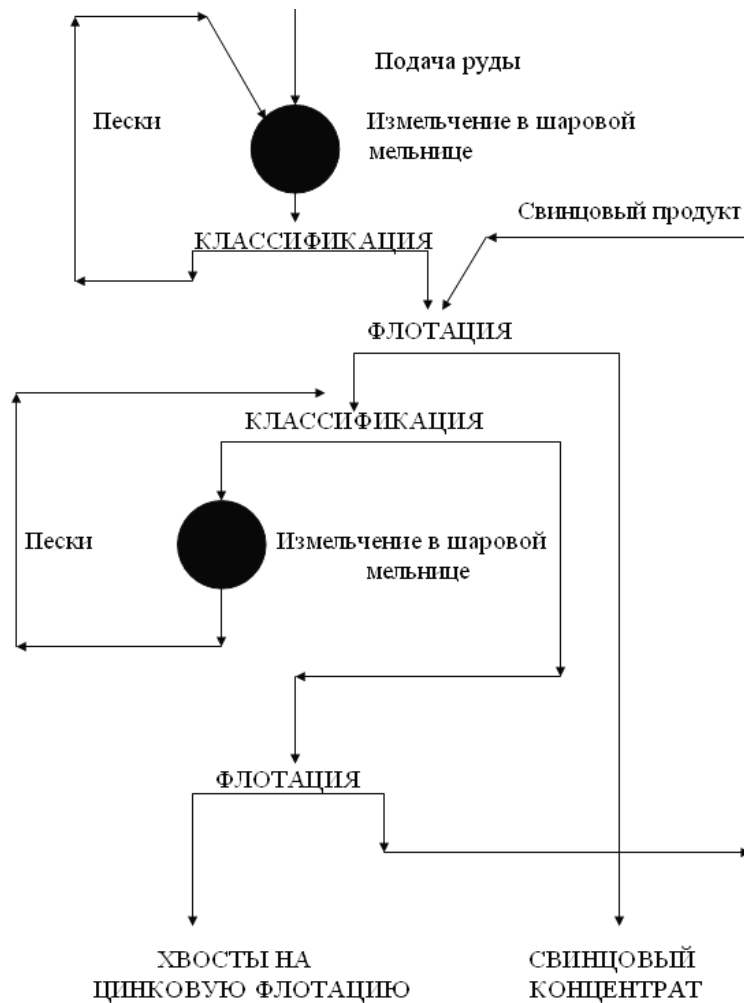


Рис. 1. Схема фабрики по измельчению полиметаллических руд

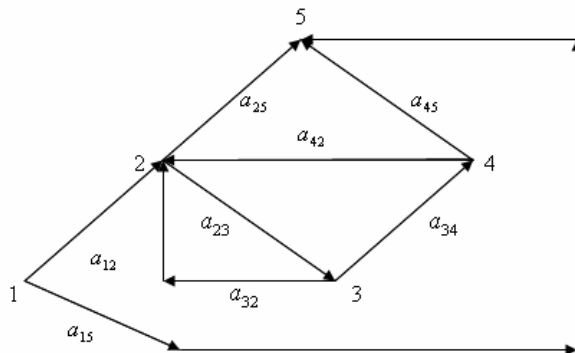


Рис. 2. Схема модели потоков продуктов технологического передела обогатительной фабрики

Допустим, мы стремимся получить как можно больше свинцового концентрата в каждую единицу времени. Основной критерий – максимальная производительность. Не следует думать, что для этого нужно отправлять ежечасно a_{12} тонн по участку 1-2 и a_{23} тонн по участку 2-3: ведь может оказаться, что из-за недостаточной пропускной способности участков, по которым перемещается руда, могут образоваться “застой” руды, в результате чего движение замедлится или прекратится совсем. Например, если $a_{12} > a_{25} + a_{23}$, то “застой руды” возникнет в пункте 2 (флотация). Значит для наилучшего

(оптимального) ведения технологического процесса нам нужно решить такую задачу: определить, сколько тонн руды нужно ежедневно проводить по каждому участку фабрики обогащения полиметаллических руд, чтобы при этом не превысить пропускной способности ни одного из участков, не создав “застоев” в промежуточных пунктах и чтобы выходное количество ежедневно получаемой готовой продукции (свинцового концентрата) было наибольшим.

Применение такого подхода позволяет повысить эффективность обогатительного процесса.

Литература

1. Богданов О.С., Справочник по обогащению руд, – М.: Недра, 1972, – 448 с.
2. Борисов В.Г. Юный радиолюбитель. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1986. – 440 с. (Массовая радиобиблиотека, Вып. 1101)
3. Миронов А. А. Минимакс в транспортных задачах / А. А. Миронов, В. И. Цурков. — М.: Физматлит, 1997. – 400 с.
4. Олюнин В.В. Переработка нерудных строительных материалов. – М., 1988.
5. Хацет А.Б., Транспортные сети и электрические цепи, Квант, 1975.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ

Д.В. Федин

Научный руководитель доцент В.Г. Крец

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Технологические процессы, осуществляемые на фабрике обогащения можно сравнить с процессами, протекающими внутри электрической цепи.

Представим процессы, протекающие на обогатительной фабрике п. Белоусовка, (Восточно-Казахстанская область), в виде ориентированного графа (рис. 1), где a_{ij} – пропускная способность каждого участка, x_{ij} – количество пропускаемой продукции, X – общий объем пропускаемой продукции.

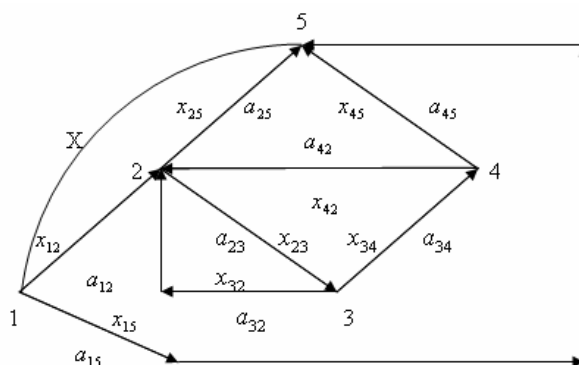


Рис. 1. Схема модели потоков продуктов технологического передела обогатительной фабрики

Для того, чтобы добиться оптимальной переработки рудной продукции на обогатительной фабрике нам нужно решить следующую задачу.

Найти такие величины x_{ij} потоков по дугам, при которых достигает максимума величина потока по сети

$$X = x_{12} + x_{15} \quad (1)$$

при следующих условиях:

а) ограниченность пропускных способностей дуг

$$\begin{aligned} x_{12} \leq a_{12}, x_{23} \leq a_{23}, x_{32} \leq a_{32}, x_{25} \leq a_{25}, \\ x_{34} \leq a_{34}, x_{45} \leq a_{45}, x_{42} \leq a_{42}, x_{15} \leq a_{15} \end{aligned} \quad (2)$$

б) непрерывность потока в промежуточных вершинах

$$\begin{aligned} x_{12} + x_{42} + x_{32} - x_{23} - x_{25} - x_{45} &= 0, \\ x_{23} - x_{34} - x_{32} &= 0, \\ x_{34} - x_{42} - x_{45} &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

При установившемся потоке количество руды, пропускаемой через вход 1, должно быть равно количеству руды, пропускаемой за тоже время на выход 5 (иначе нарушилось бы условие непрерывности потока)

$$X = x_{12} + x_{15} = x_{25} + x_{45} + x_{15}. \quad (4)$$

Если схему обогащения считать электрической цепью, а объёмы пропускаемой руды x_{ij} - величинами тока в соответствующих ветвях цепи, то уравнение (3) выражают первый закон Кирхгофа для промежуточных узлов цепи: *алгебраическая сумма токов в узле равна нулю* (то есть сумма токов, втекающих в узел, равна сумме токов, вытекающих из узла).

Следует заметить, что эта аналогия не полная, поскольку закон Кирхгофа обычно формулируется для замкнутой цепи и относится к любому её узлу, с этой целью мы вводим в схему обогащения дополнительную дугу из выхода во вход сети (на рис. 1 это дуга X).

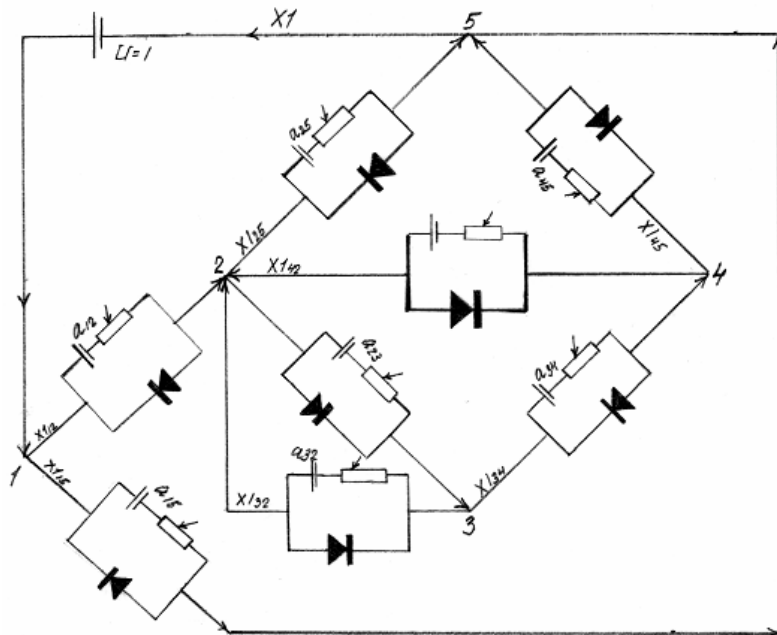


Рис. 2. Схема принципиальная эквивалентного замещения потоков продуктов технологического передела обогатительной фабрики.

1, 2 – это флотация, 1, 5 – пески, 2, 5 – свинцовый концентрат, 2, 3 – классификация, 3, 2 – измельчение в шаровой мельнице, 3, 4 – флотация, 4, 2 – свинцовый продукт, 4, 5 – хвосты на цинковую флотацию

Пропускной способностью новой дуги ограничивать не будем, а поток по ней примем равным X , то есть потоку по сети. По полученной обобщенной сети поток будет совершать уже замкнутый путь от входа к выходу по заданной схеме обогащения, а затем от выхода на вход по дополнительной дуге.

Тогда нашу задачу можно переформулировать так: *определить такие объёмы пропускаемой руды x_{ij} , при которых достигается максимум величина X (поток по сети) при ограничениях (2) и условиях (3) и (4) непрерывности потока во всех узлах:*

$$\begin{aligned} X - x_{12} - x_{15} &= 0 \\ x_{12} + x_{42} + x_{32} - x_{23} - x_{25} - x_{45} &= 0 \\ x_{25} + x_{45} + x_{15} - X &= 0 \\ x_{34} - x_{42} - x_{45} &= 0 \end{aligned} \quad (5)$$

Получилась полная аналогия с законом Кирхгофа, что позволяет построить *электрическую модель* схемы обогащения, в которой искомым потоком по дугам соответствовали бы токи в ветвях, определяемые *непосредственным измерением без каких-либо вычислений*.

Используя известные подходы и приемы электрического моделирования построили электрическую модель обогатительной фабрики, которая приведена на рис. 2.

Токи x_{ij} , устанавливающиеся в основных ветвях электрической модели схемы обогащения, численно равны объёмам пропускаемой руды по соответствующим дугам и дают решение задачи о максимальном потоке для этой схемы. При этом ток X в дополнительной ветви модели численно равен максимальному потоку по сети.

Вывод: в результате практического расчета удалось повысить производство продукции предоставленного участка. Применение моделирования при оптимизации технологических процессов позволяет вести более стабильно технологические процессы и получить экономический эффект не менее 10 – 15 %.

Литература

1. Богданов О.С., Справочник по обогащению руд, – М.: Недра, 1972, – 448 с.
2. Борисов В.Г., Юный радио любитель. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1986. – 440 с.: ил. (Массовая радиобиблиотека, Вып. 1101)

3. Мионов, Анатолий Анатольевич. Минимум в транспортных задачах / А. А. Мионов, В. И. Цурков. — М.: Физматлит, 1997. — 400 с. — (Оптимизация и исследование операций).
4. Олюнин В.В., Переработка нерудных строительных материалов, — М., 1988.
5. Хацет А.Б., Транспортные сети и электрические цепи, Квант, 1975.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ И РАЗРАБОТКА НОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОЛОНН БУРИЛЬНЫХ ТРУБ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТЫ УГОЛЬНЫХ ШАХТ БУРЕНИЕМ ДЕГАЗАЦИОННЫХ СКВАЖИН ИЗ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

А.В. Шадрин, А.А. Казанцев

Научный руководитель профессор Л.А. Саруев
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В настоящее время дегазация угольных пластов является острой проблемой на шахтах России и, в частности, в Кузбассе и Воркуте, где на одну тонну угля приходится 10 – 15 м³ метана. Таких шахт в нашей стране около полусотни. Кардинальным решением этой проблемы является интенсификация бурения дегазационных скважин до того, как начнутся работы по добычи угля. Так поступают в США, Австралии, других странах. Заранее бурят такие скважины с целью предотвращения внезапного выброса метана, который находится в угольных пластах под большим давлением. Указанная технология дорогая, но так обзывает закон [2].

Существующее на шахтах оборудование для бурения дегазационных скважин устаревшее и не обеспечивает необходимые параметры и режимы дегазации. Объемы дегазационного бурения с поверхности земли уменьшилось в 20, а из подземных горных выработок – в 8 раз. Темпы бурения дегазационных скважин не отвечают современным темпам добычи угля.

Для бурения дегазационных скважин необходимо малогабаритное оборудование, обеспечивающее высокопроизводительную и безопасную работу горнорабочих в подземных условиях, острый дефицит и несовершенство которого наблюдается в последнее время. В связи с этим возникла необходимость в создании высокопроизводительных станков и надежного бурового инструмента к ним.

Целью работы является интенсификация бурения дегазационных скважин из подземных горных выработок на основе разработки и внедрения новых ниппельных соединений бурильных труб и усовершенствования буровых станков за счет установки на них гидроимпульсных механизмов.

Статистикой установлено, что порядка 60 % всех аварий при бурении скважин связаны с разрушением колонны бурильных труб (штанг) в местах их соединений, поэтому чрезвычайно важно максимально использовать все резервы продления их срока службы.

На решение этой важной научно-технической задачи направлены исследования динамических процессов в колоннах бурильных труб и разработка на их основе научно обоснованных конструкций новых ниппельных соединений труб, которые отличаются от традиционных конструкций тем, что ниппель, соединяющий сопряженные трубы, полностью скрыт внутри колонны бурильных труб. Преимущество данного резьбового соединения заключается в отсутствии концентраторов напряжений, вызывающих разрушение соединительного элемента в процессе бурения, что установлено в результате проведенных ранее исследований. Установлено, что только за счет сохранения постоянного диаметра поперечного сечения ниппеля прочность его увеличивается в 2,5 – 3 раза [3].

Кроме того, при ударно-вращательном бурении, силовой импульс, вызывая радиальную деформацию бурильных труб, разгружает ниппель от значительной части продольной нагрузки и передаваемого по колонне труб крутящего момента. Таким образом, вся мощность, формируемая буровым станком передается по бурильным трубам с минимальной нагрузкой на соединительный элемент, что обеспечивает в целом колонне труб повышенную прочность и минимальные потери энергии при передаче её от станка к породоразрушающему инструменту.

Соединительный элемент (ниппель) представляет собой полый цилиндр с толщиной стенки от 7 мм, по всей наружной поверхности которого нарезана резьба круглого профиля, на стороне, обращенной к забою скважины, имеется коническая поверхность со специальными продольными канавками. Бурильные трубы конструктивно выполняются гладкими, на обоих концах которых нарезана внутренняя цилиндрическая резьба. После соединения ниппеля с бурильной трубой сторона, обращенная к забою скважины, радиально обжимается по конической поверхности ниппеля так, чтобы координата центра окружности обжатия в продольном сечении выходила за торец ниппеля. Таким образом, получается неразъемное соединение.

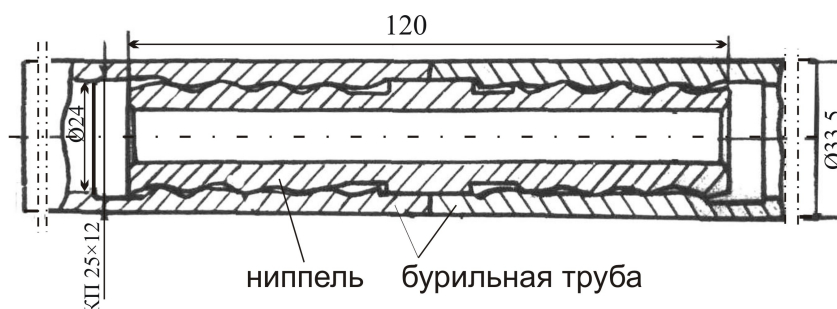


Рис. Ниппельное соединение, полностью скрытое внутри бурильных труб

Такая конструкция теоретически позволяет предположить, что, во-первых, ниппель всегда будет оставаться со стороны колонны, обращенной к забою скважины, во-вторых, увеличит долговечность соединения за счет того, что при прохождении распространяющейся поперечной волны деформации через соединение ниппель будет оставаться в слабонагруженном состоянии. Следовательно, величина напряжений в соединительном элементе и потери энергии ударного импульса в соединении будут минимальны. Благодаря тому, что соединительный элемент находится внутри бурильных труб максимальный диаметр скважин будет ограничен только наружным диаметром трубы, при этом исключается возможность заклинивания бурильных труб осыпавшейся породой в скважине. Отсутствие перепадов наружных диаметров по всей длине колонны труб исключает завихрения промывочной жидкости в местах соединений труб, что является одним из существенных преимуществ данного соединения по сравнению с муфтовым.

В настоящее время в вопросах передачи энергии удара по буровому инструменту достигнут определенный прогресс, но большинство работ носит экспериментальный характер. Это создает определенные трудности при разработке нового и совершенствовании существующих типов оборудования, поскольку внесение в его конструкцию тех или иных изменений требует, в конечном итоге, дополнительных экспериментальных исследований. Проведенные в ТПУ исследования показали возможность эффективной передачи энергии силовых импульсов по колоннам бурильных труб. Разработаны методы расчета новых ниппельных соединений бурильных труб и передачи силовых импульсов по буровому инструменту (для ударно вращательного бурения), которые на этапе проектирования позволяют оценить эффективность конкретной конструкции колонны бурильных труб: рассчитать значение напряжений в соединении; амплитуды силы, энергии импульса, направленного на разрушение горной породы [4].

На основе полученных теоретических и экспериментальных исследований были разработаны чертежи колонн бурильных труб, которые в настоящее время вместе с методами расчета новых ниппельных соединений переданы в ООО "Горный инструмент" (г. Новокузнецк) для изготовления и проведения производственных испытаний новой колонны бурильных труб.

Прогрессивным направлением в развитии машин и механизмов ударного действия для бурения скважин является создание силовых импульсных систем с гидравлическим приводом. Проведенные в ТПУ исследования, вращательного бурения режущим инструментом с наложением на него высокоэнергетических упругих колебаний показали возможность в 2-2,5 раза интенсифицировать процесс разрушения горных пород; в 1,5-2 раза повысить износостойкость режущего инструмента; расширить область эффективного разрушения горных пород на 2-3 категории крепости пород по шкале проф. М.М. Протодяконова.

Для повышения скорости бурения планируется провести определение оптимальных параметров гидроимпульсного механизма, созданного в ТПУ на уровне изобретения (№ 727419) [1], применительно к станку БЖ45-100Э Анжерского машиностроительного завода, тем самым повысить производительность буровых станков на 40-70%.

Следует отметить, что на новые ниппельные соединения бурильных труб уже получены четыре патента на полезную модель резьбовых соединений, а также четыре положительных решения о выдаче патентов на ниппельные соединения буровых штанг. Они прошли испытания в лабораторных условиях в трех искусственных скважинах и успешные производственные испытания на Хайдарканском месторождении (Кыргызстан).

В целом по результатам исследований за 2005-2007 гг. опубликованы 2 монографии, получено 2 гранта, в том числе, грант Ученого Совета ТПУ на исследования в этом направлении.

Литература

1. Саруев Л.А. Рабочие процессы и выбор параметров станков для бурения взрывных скважин малого диаметра: Дис. ... д-ра техн. наук. – Новосибирск, 1986. – 268 с.
2. Сластун С. Метановая бочка / Аргументы и факты. - № 3, 2007. – С. 8.
3. Чернавский С.А. и др. Курсовое проектирование деталей машин. – М., 2005. – С. 162 – 163.
4. Шадрин А.В. Распространение силовых импульсов по колонне труб при бурении скважин: Автореф. ... канд. техн. наук. – Томск, 2007. – 21 с.