

УДК 622.272

*А.В. Лиманский***ВЫСОКОИНТЕНСИВНАЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ
ТЕХНОЛОГИЯ ВЫЕМКИ ТОНКИХ ПОЛОГИХ
ПЛАСТОВ БЫСТРОХОДНОЙ ВЫЕМОЧНОЙ
МАШИНОЙ (БВМ)**

Семинар № 15

В настоящее время на шахтах Российской Федерации вскрыто более 40 пологих шахтопластов мощностью 0,9÷1,4 м в т.ч. в Кузнецком бассейне – 28 (из них отрабатывают 2-3); в Печорском – 3, Российском Донбассе – 9. Промышленные запасы высококачественных углей (марок А, К, Ж, Г), сосредоточенные в данных пластах, составляют свыше 400 млн т. Только в Восточном Донбассе на долю шахт, отрабатывающих эти пласты приходится более 70 % от общего количества действующих шахт, а это около 250 млн т вскрытых запасов. В Кузбассе на балансе действующих шахт находится около 110 млн т угля в тонких пластах (около 12 % от общего числа запасов, отрабатываемых подземным способом). В Печорском бассейне – около 36 млн т угля.

В целом условия залегания пологих пластов рассматриваемой мощности являются благоприятными. Глубина горных работ изменяется от 200 до 1200 м. Природная газоносность изменяется от 0 до 25 м³/т – около 30 % шахтопластов имеют природную газоносность более 15 м³/т. Обрушаемость пород основной кровли – от легко до труднообрушаемой, в том числе легко и средней обрушаемости составляют 85 %. Сопротивляемость угля резанию не превышает 300 кН/м, а в 88 % случаев она изменяется от 120 до 250 кН/м.

Незначительный объем добычи из данной группы пластов (5÷6 млн т/год) объясняется отсутствием надежных и высокопроизводительных комплексов для их отработки. Выемка пластов с применением механизированных комплексов, предназначенных для работы в диапазоне мощностей 0,9÷1,4 м, ведется с применением в основном комплексов типа: 2КД90Т (6 лавокомплектов), 1КМ88 (5), 1КД90 (3), ДФ (4), 1КМ103 (3). Причем ни один комплекс не работает в предназначенном диапазоне 1,0÷1,4 м, при выемке пластов меньшей мощности осуществляются присечки боковых пород, что резко увеличивает зольность добываемого угля и ускоряет износ элементов комплекса. Применяемые крепи имеют в большинстве своем низкое сопротивление 40-87 т/м². Несмотря на невысокое сопротивление, данные крепи имеют достаточно высокое удельное давление на почву пласта – 2,2÷3,0 МПа.

Рассматриваемые пласты отрабатываются узкозахватными комбайнами Российского (Украинского) производства: 1К101У – 30 %; 1ГШ-68 – 25 %; К103М – 15 %; РКУ10 – 15 %; КШ1КГУ, KGS-245 (Польша) – 10 % и одной струговой установкой 1СН-99. При этом нагрузка на очистной забой, как при комбайновой, так и при струговой выемке является низкой и составляет – 500-1200 т/сут.

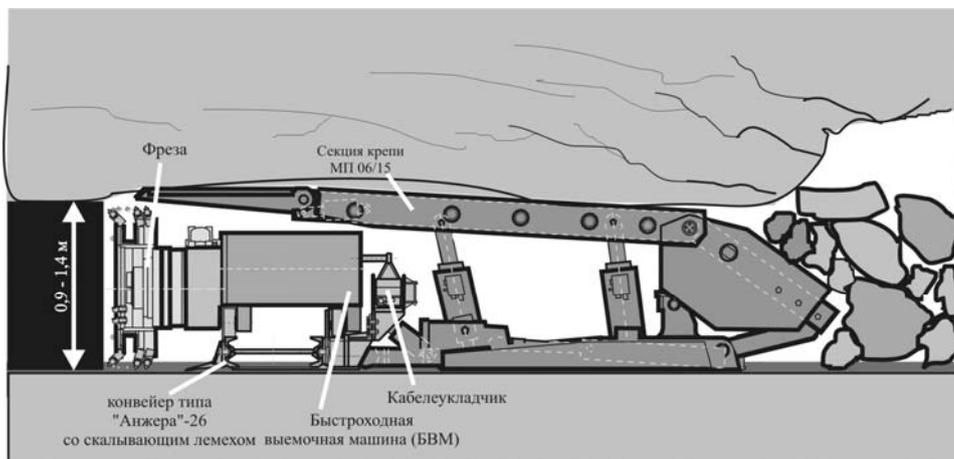


Рис. 1. Быстроходная выемочная машина (БВМ) в увязке с крепью МП 06/15 и конвейером типа «Анжера»-26

Практика отработки пологих угольных пластов мощностью $0,9 \div 1,4$ м шнековыми комбайнами показала ряд серьезных недостатков, снижающих эффективность горных работ и ухудшающих условия труда в очистном забое: высокое пылеобразование и связанное с ним увеличение риска для здоровья горнорабочих и опасности взрывов пылеметановоздушных смесей; высокий удельный расход электроэнергии; излишнее переизмельчение угля шнеками, приводящее к более интенсивному пылеобразованию и снижающее экономический эффект от добычи угля.

В струговых установках эти недостатки отсутствуют, однако их отличает низкая надежность и ресурс; низкий коэффициент машинного времени, не превышающий в среднем $0,2$; существенные ограничения по сопротивляемости угля резанию; значительные трудности при работе на пластах со сложной гипсометрией и мелкоамплитудной нарушенностью.

В настоящее время ИГД им. А.А. Скочинского совместно с ПНИУИ разработана принципиально новая отечественная технология ведения очистных работ с комплексом КМБМ, позволяющая во многом устранить перечисленные выше не-

достатки, присущие комбайновой и струговой технологиям выемки и вместе с тем совместить положительные качества этих технологий при отработке пологих пластов мощностью $0,9 \div 1,4$ м.

В состав комплекса КМБМ входят (рис. 1): механизированная крепь, быстроходная выемочная машина БВМ с малым захватом; лавный скребковый конвейер со скальвующе-погрузочным лемехом; электрооборудование; крепь сопряжения; насосная и магнитная станции [1].

Быстроходная выемочная машина (рис. 2) состоит из двух корпусов (центрального и электроблока), поворотного редуктора и фрезы.

В центральном корпусе размещается электродвигатель АКВ 250L4 мощностью 150 кВт и элементы систем гидравлики и оросительного устройства. Опорами центрального корпуса служат 4 колеса: две опоры с забойной стороны разнесены и имеют со стороны забоя упорный буртик; две опоры со стороны завала сближены и располагаются в одном блоке с упорными роликами, ограничивающими перемещение БВМ в сторону забоя. На этом же блоке имеются захваты для установки тяговой цепи. Система подачи БВМ – цепная с вы-

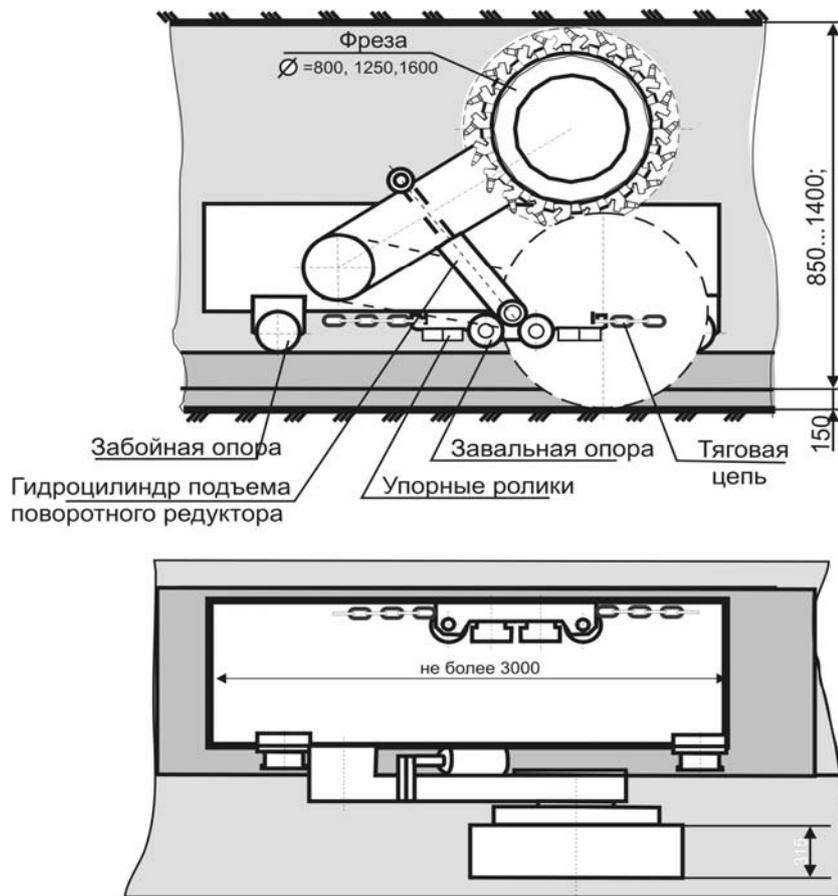


Рис. 2. Быстроходная выемочная машина (БВМ)

несенными за пределы лавы приводами подачи.

Поворотный редуктор служит для передачи крутящего момента от двигателя, размещения и управления положением фрезы и крепится к центральному корпусу БВМ двумя цапфами.

Фреза служит для разрушения горного массива и не является погрузочным органом. На рис. 3 показаны два варианта конструкции фрезы. Вариант 1 – конструкция

ПНИУИ - снабжена поворотными резцами производства фирмы "PIGMA GRAND" с конструктивным вылетом 90 мм. Для фронтальной зарубки фреза имеет резцы и внутреннее заглабление. Фреза снабжена системой искровзрывобезопасного орошения с подачей воды на след резания каждого резца. Вариант 2 – конструкция ИГД им. А.А. Скочинского [2], отличительными особенностями которой от варианта ПНИУИ являются: более

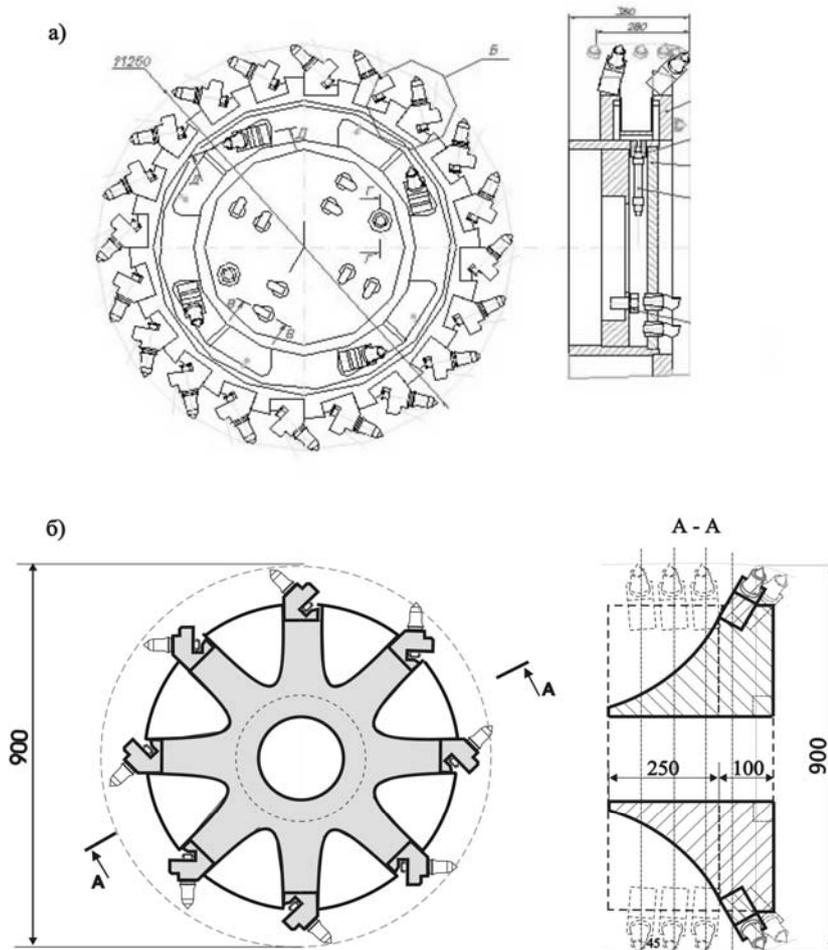


Рис. 3. Исполнительный орган БВМ (фреза): а) конструкция ПНИУИ; б) конструкция ИГД

прочная монолитная конструкция; рациональное соотношение кутковых и рядовых резцов (1:1,5 вместо 2:1), что ведет к меньшему удельному расходу электроэнергии, переизмельчению угля и образованию пыли; применение четырех линий резания вместо трех, что снижает скорость резания и число оборотов фрезы при одинаковой скорости подачи и ведет к улучшению сортности.

В комплексе КМБМ применен т.н. струговый конвейер – с дополнительным гидроцилиндром, позволяющим управлять конвейером в вертикальной плоскости с целью прижатия носка конвейера к почве и исключения его всплытия.

Предлагаемая компоновка БВМ обоснована анализом аналогичных конструкций, прежде всего конструкции комбайна "Колмил" фирмы "Лонг-Эрдокс" (США), а

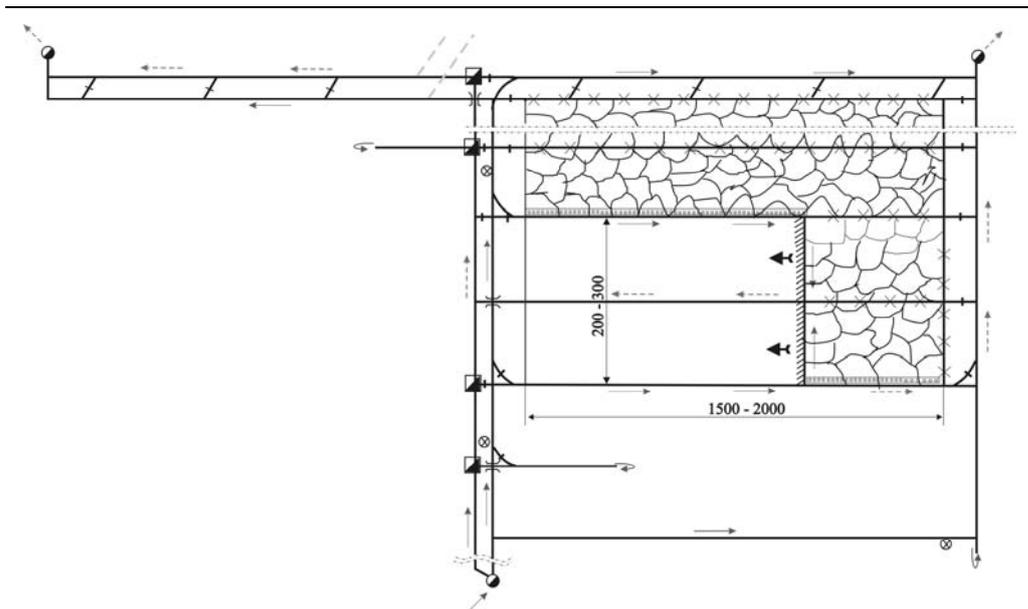


Рис. 4. Схема подготовки и отработки выемочного столба с делением лавы на две независимо проветриваемые части

также конструкций комбайнов ККЛ для комплекса 2КМКЛ разработанного ИГД им. А.А. Скочинского и ОАО "ПНИУИ" ранее и по результатам приемочных испытаний рекомендованного к серийному производству.

Возможны две схемы очистных работ с применением комплекса КМБМ.

1. Выемка угля в лаве ведется только с применением БВМ, вначале вынимается полоса угля шириной 0,3-0,4 м и высотой 0,9 м, а затем обратным ходом вынимается земник. Секции крепи перемещаются к новому забою после выемки двух стружек (0,6-0,8 м) одновременно в двух-трех точках. При электрогидравлическом управлении секциями скорость крепления может достигнуть 25 м/мин. Но для этого в лаве необходимо иметь три трубопровода: два напорных, один сливной и две рабочие маслостанции. Такая технология возможна при породах кровли средней устойчивости. При наличии трещиноватых неустойчивых пород кровли следует применять выдвижные верхняки. При выдвижении верхня-

ков в двух-трех точках скорость крепления может достигнуть 35-40 м/мин.

2. Быстроходной выемочной машиной вынимается верхняя часть пласта на величину диаметра фрезы. Оставшийся у почвы уступ высотой до 0,5 м скалывается вслед за проходом БВМ скалывающе-погрузочным лемехом, установленным с забойной стороны лавного скребкового конвейера, находящегося в состоянии постоянного подпора на забой. Погрузка отбитого фрезой угля и образующегося в результате скалывания осуществляется скребковым конвейером.

Основной системой разработки при применении комплекса оборудования КМБМ являются длинные столбы по простиранию с отработкой их лавами длиной от 50 до 250 м. Длина выемочных столбов может составлять от 500 до 4000 м. Комплекс КМБМ можно применять в лавах действующих технологических схем длиной 200 м, а также системе разработки длинными столбами по восстаню. Для газоносных пластов предлагается технологическая схема выемки с

промежуточным штреком, проводимым в пределах выемочного столба и погашаемого одновременно с его отработкой лавой (рис. 4). Свежий воздух подается по двум крайним штрекам, что позволяет в два раза повысить количество воздуха в лаве. Если протяженность частей лавы примерно одинакова, то удвоение количества воздуха позволит в два раза повысить допустимую нагрузку на лаву по метану, выделяющемуся из пласта и отбитого угля. Условия применения данной схемы: мощность пласта 1,0-2,5 м; угол падения – 0-18°; газоносность пласта – более 15 м³/т.

Выполненные расчеты показали, что применение комплекса КМБМ с относительно небольшой установленной мощностью входящего в него оборудования может обеспечить нагрузку на забой в пределах 3÷7 тыс.т/сут в зависимости от мощности пласта и числа БВМ в лаве.

Значительный эффект в результате применения предлагаемой технологии

может быть получен благодаря применению БВМ с малым захватом за счет снижения энергоемкости разрушения угля, почти приближающейся к показателям при струговой выемке, а также снижения энергоемкости при перемещении БВМ по ставу конвейера за счет принципа качения, применяемого при перемещении БВМ, вместо применяющегося в узкозахватных комбайнах и стругах способа перемещения трением по скребковому конвейеру.

В заключении необходимо отметить, что применение БВМ в составе очистных комплексов позволит более эффективно переходить очистными забоями мелкоамплитудную внутрискреповую нарушенность, особенно в случае создания исполнительного органа типа "фреза" со сменным режущим инструментом, предназначенным для выемки относительно крепких боковых пород в зоне выявленной нарушенности в процессе ведения очистных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Измалков А.В., Лаврухина Л.Я., Попов С.Ф., Лиманский А.В. Перспективы развития высокопроизводительных энергосберегающих технологий выемки пологих пластов на шахтах России // Техника и технология открытой и подземной разработки месторождений: Науч. сообщ. / ННЦ ГП – ИГД им. А.А. Скочинского. – М., 2004. – Вып.328. – С.65-73.

2. Брайцев А.В., Лиманский А.В. Фрезерный очистной комбайн типа КСМ с захватом 0,3-0,4 м для длинных очистных забоев// Техника и технология открытой и подземной разработки месторождений: Науч. сообщ. / ННЦ ГП – ИГД им. А.А. Скочинского. – М., 2005. – Вып.329. – С.71-77.

Коротко об авторах

Лиманский А.В. – аспирант, младший научный сотрудник лаборатории «Технология и механизация горных работ» ННЦ ГП – ИГД им А.А. Скочинского.



© В.В. Потапов, Ю.Г. Феклистов,
А.М. Вандышев, В.Я. Потапов,

*В.В. Потапов, Ю.Г. Феклистов, А.М. Вандышев,
В.Я. Потапов*

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
КАЧЕСТВОМ УГЛЯ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ
ДОБЫЧЕ ПО ФРИКЦИОННЫМ
ХАРАКТЕРИСТИКАМ**

Семинар № 15

Работы по улучшению качества угля и снижению его потерь, а также уменьшению количества выдаваемой на поверхность породы ведутся в направлении изыскания более совершенной подземной геотехнологии, применения процессов обогащения горной массы под землей и оставления пустых пород в шахте.

В мировой практике угледобычи накоплен определенный опыт подземного обогащения угля с оставлением пустых пород в шахте. Существующие технические решения касаются закладочных комплексов, размещаемых в околоствольных дворах или выемочных участках угольных шахт [1, 2]. Технология обогащения отбитого угля именно в подземных условиях представлена в основном дробильно – сортировочными установками ДСУ, которые имеют значительные габариты и требуют больших капитальных затрат – на шахте им. Гаевого в Донбассе ДСУ занимают по вертикали целый этаж [1]. Поэтому установки размещают в околоствольных дворах ОД, что обуславливает двойную транспортировку пустой породы: к ОД и обратно к выемочному участку.

Размещение породы в шахте с закладкой ее в погашаемые выработки и выработанные пространства обеспечит повышение эффективности выемки запасов угля и снижение концентрации опорного горного давления в очистном забое и на его сопряжениях. При этом снижаются затраты на транспортировку и выдачу породы, а также уменьшается зольность добываемо-

го угля. Кроме этого, закладка выработанных пространств породой позволяет ликвидировать пустоты, в которых происходит накопление вредных газов и особенно метана [3].

Комплексный подход к подземному обогащению отбитого угля с минимальными затратами возможен при наличии установок для разделения угля и пустой породы, которые легко встраиваются в любую технологическую цепочку транспорта угля в пределах выемочного участка. Отсюда основные требования к установкам подземного обогащения угля: высокая производительность, обеспечивающая обработку всей массы угля из выемочного участка; небольшие габариты и вес, обуславливающие устойчивые размеры подземных камер для размещения установок, а также малозатратные перемещения установок на новые участки; наконец, совместимость с существующими комплексами для закладки выработанных пространств пустой породой.

Решению данной проблемы могут способствовать проведенные нами исследования по разделению углей на барабанно-полочном фрикционном сепараторе БПФС и сепараторе для разделения сыпучих материалов по трению и упругости СПРУТ. В данных сепараторах в основе разделения используются различия во фрикционных и упругих свойствах углесодержащих формаций.

Принципиально работа сепараторов основана на получении "веера" материала,

Таблица 3

Осволение неслучайно загрязненных пород при освоении БИФС и СПРУТ

Класса -50+0 мм на БИФС (лоток-сталь, барабан-сталь, тип установки - Производительность, 1 абариты (длина, высота, Диаметр барабана 500мм, частота вращения 102 об/мин.)				Вес, кг
Месторождение	Продукт разделения	Выход продукта, %	Массовая доля золь, А, %	Изделение золь, Е, %
БИФС	65	3000×2500×1400 (1500) ширина, мм	1400 (1500)	1400 (1500)
СПРУТ	100-150 концентрат	42,54	3000×3000×2000	2500
			12,53	37,4

Вахр

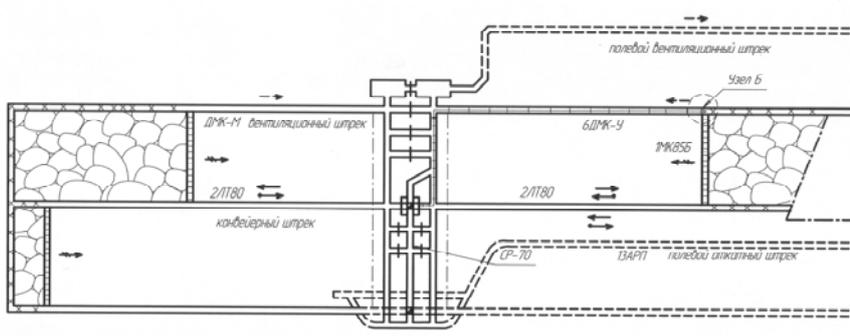
ш. Кс

Экиб

Таблицы
Техно-
класс
раздел

Мес

ПЛАН ВЫЕМОЧНОГО ПОЛЯ



Вахр

ш. Коркинская	концентрат	47,65	21,84	23,14
	хвосты	52,35	66,02	76,86
	итого	100,00	44,67	100,00
Экибастуз	концентрат	49,25	22,15	26,18
	хвосты	50,75	60,61	73,82
	итого	100,00	41,67	100,00

на противоположных сторонах которого концентрируются частицы с различными свойствами.

Данные сепараторы в своей конструкции содержат подвижную разделительную поверхность. - вращающийся цилиндрический барабан и неподвижную разделительную поверхность - ярусно расположенные двускатные элементы вытянутые вдоль образующей.

Общим элементом сепараторов являются разгонный желоб (лоток), узел стратификации, по наклонной поверхности ко-

торого частицы движутся с различной скоростью и после схода с поверхности формируют предварительный "веер".

Окончательно формирование веера происходит при ударном взаимодействии частиц с разделительной поверхностью. Разделение высокозольных углей класса -50+0 мм для некоторых месторождений данными сепараторами приведены в табл. 1 и 2.

Результаты промышленных испытаний показали, что данные сепараторы

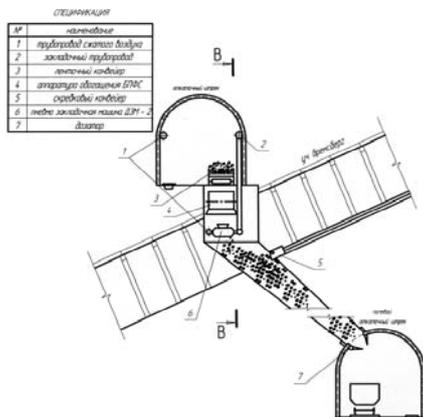


Рис. 3. Установка сепаратора БПФС в технологической цепочке

нижней приемной площадке участкового бремсберга. Установки (БПФС, СПРУТ) размещается в специальных камерах между бремсбергами и штреками (рис. 3 и 4).

После процесса разделения отбитый уголь транспортируется по бремсбергу проходит прочее разделение в камере ОП и далее через скат подается на откаточный штрек. В свою очередь высокозольный уголь и порода из камеры ОП поступает в пневмозакладочную машину и далее с помощью сжатого воздуха транспортируется в погашаемые выработки.

Возможны различные схемы закладки выработанных пространств. При небольшом выходе высокозольных углей (породы) они используются для закладки тупика конвейерного штрека (рис. 2). В случае

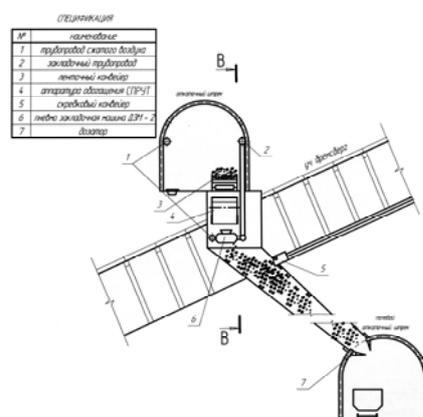


Рис. 4. Установка сепаратора СПРУТ в технологической цепочке

значительных объемов выхода пустых пород при обогащении, возможно, использовать их для закладки выработанных пространств очистных забоев.

Использование в технологических схемах разработки угольных пластов с высокой зольностью установок предварительного обогащения позволит значительно улучшить качество добываемого угля, снизить затраты на транспортирование горной массы и при этом использовать пустые породы в качестве закладочного материала. В итоге предлагаемое комплексное решение позволит повысить эффективность очистных работ и улучшить экологическую обстановку на поверхности шахт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пацук В.Е. Обоснование параметров технологических схем шахт с подземным обогащением угля // Автореферат дис. канд. техн. наук - М.: МГУ, 1994. - 24 с.
2. Демин В.Ф. Создание технологии эффективности выемки маломощных и сложноструктурных пластов с использованием шахтной породы // Автореферат дис. док. техн. наук - К.: КарГТУ, 2004 – 37 с.
3. Корнилков В.Н. Подземная разработка месторождений полезных ископаемых. Подземная разработка пластовых месторождений: Учебник для вузов. Екатеринбург: Изд-во Уральского государственного горного университета, 2005. – 494 с.

Коротко об авторах

Феклистов Ю.Г. – заведующий кафедрой, кандидат технических наук, доцент кафедры разработки пластовых месторождений,
Вандышев А.М. – кандидат технических наук, профессор кафедры разработки пластовых месторождений,
Потапов В.Я. – кандидат технических наук, доцент кафедры горной механики,
Потапов В.В. – аспирант, ассистент кафедры разработки пластовых месторождений,
Уральский государственный горный университет.

ДИССЕРТАЦИИ

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
МАКАРОВ Владимир Николаевич	Обоснование параметров и создание газотсасывающих вентиляторных установок комбинированного проветривания угольных шахт	05.05.06	д.т.н.



© С.В. Сергеев, 2006

УДК 622.283

С.В. Сергеев

ПЕРЕДАЧА НАПРЯЖЕНИЙ В КОМБИНИРОВАННОЙ КРЕПИ СТВОЛОВ

В сложных горно-геологических условиях для крепления вертикальных стволов повсеместно применяется комбинированная крепь, состоящая из чугунных тюбингов и бетона. А на Яковлевском руднике, в интервалах с наибольшей ожидаемой нагрузкой, впервые применена крепь, состоящая из внешней и внутренней тюбинговых колонн и бетонного заполнения кольцевого пространства.

Сооружение такой крепи производится в три этапа: на первом этапе сверху вниз (на высоту 4-8 м) возводится внешняя тюбинговая колонна; на втором - навешиваются тюбинги внутренней колонны; на третьем - производится бетонирование пространства между колоннами.

Экспериментальные натурные исследования напряженного состояния комбинированных крепей проводились в стволах: Яковлевского рудника КМА, рудника «Скалистый» НГМК, шахты «Центральная» Донского ГОКа (Казахстан), рудника «Пийло» концерна «Ориана», Закарпатского солерудника (Украина) [1, 2, 3]. В общей сложности было установлено свыше 60 замерных станций. Измерениями деформаций в замерных станциях были охвачены все слои крепи. Продолжительность наблюдений составила от 3 месяцев до 7,5 лет. А на Яковлевском руднике некоторые замерные станции сохранили работоспособность в течение 18 лет [4].

Долговременные натурные наблюдения позволили раскрыть механизмы передачи напряжений в комбинированной крепи.

Наиболее сложное взаимодействие слоев происходило в стволах Яковлевского рудника, сооруженных способом замораживания. Здесь в двухслойной крепи затюбинговый бетон начинала воспринимать нагрузки с момента схватывания. Его твердение происходило при постоянно растущей нагрузке, которая за несколько суток дости-

гала величины 2-3 МПа, и постоянно понижающейся температуре. Бетон кроме силовых испытывал свободные температурно-влажностные деформации набухания и усадки, а также деформации ползучести.

Известно, что собственные деформации бетона являются однозначными, т.е. при усадке происходит его укорочение, а при набухании – расширение во всех направлениях. Ползучесть характеризуется двухзначными деформациями: в зоне растяжения в результате ползучести происходит дополнительное удлинение бетона, а в зоне сжатия – дополнительное укорочение. Рассмотрим все возможные сочетания этих факторов при деформировании крепи от внешней нагрузки и от собственных деформаций бетона.

I сочетание. В зоне растяжения бетона при его усадке деформации ползучести (ε_n) и усадки (ε_t) направлены на взаимокompенсацию. При этом возможны следующие варианты:

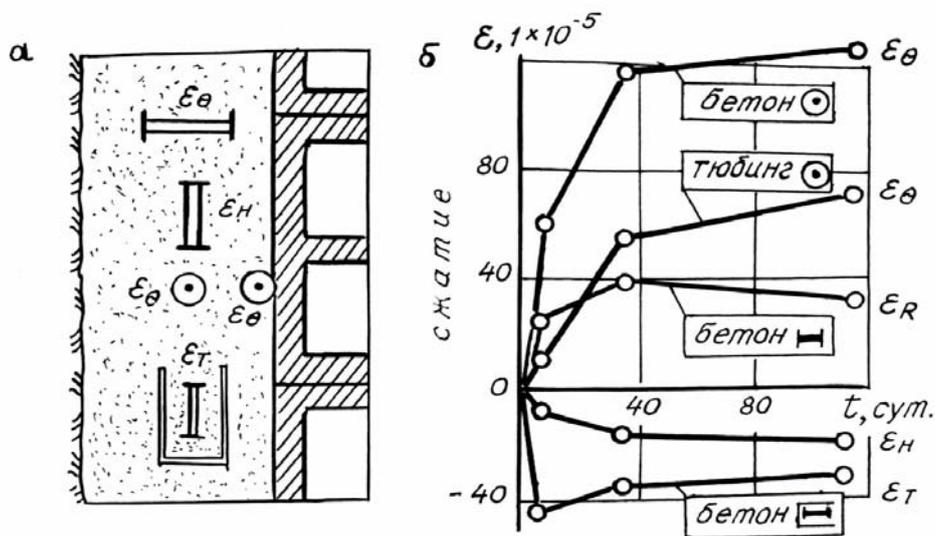
а) $\varepsilon_t > \varepsilon_n$. Деформации усадки уменьшают деформации ползучести. Это приводит к уменьшению напряжений в крепи.

б) $\varepsilon_t < \varepsilon_n$. Свободные деформации не влияют на напряженное состояние крепи. Деформации ползучести увеличивают напряжения в бетоне.

в) $\varepsilon_t = \varepsilon_n$. Крепь не испытывает никаких дополнительных напряжений от деформаций усадки и ползучести, т.к. происходит их взаимная компенсация.

II сочетание. В зоне растяжения бетона при его набухании деформации ползучести и усадки направлены на суммирование. При этом при любых величинах ε_t и ε_n происходит увеличение деформаций крепи, соответственно, и напряжений растяжения.

III сочетание. В зоне сжатия бетона при его усадке деформации ползучести и усадки направлены на суммирование, т.е.



Измеренные деформации в элементах крепи из монолитного бетона и чугунных тубингов (Яковлевский рудник, ствол №1, глубина 101 м): а – схема расположения приборов в крепи; б – изменение деформации во времени

при любых значениях ϵ_n и ϵ_t происходит увеличение напряжений в бетоне.

IV сочетание. В зоне сжатия бетона при его набухании деформации ползучести и набухания направлены на взаимокompенсацию. При этом возможны следующие варианты:

а) $\epsilon_t > \epsilon_n$. Деформации набухания частично компенсируются деформациями ползучести.

б) $\epsilon_t < \epsilon_n$. Деформации ползучести компенсируются деформациями набухания.

в) $\epsilon_t = \epsilon_n$. В бетонной крепи никаких дополнительных напряжений не возникает, т.к. происходит их взаимное компенсирование.

На рисунке приведены графики деформаций элементов двухслойной крепи, измеренные в стволе № 1 Яковлевского рудника в замороженных мергелях на глубине 101 м.

Для анализа графические результаты представлены в табличной форме (табл. 1).

Сравнение величин, приведенных в табл. 1, показывает, что на третьи сутки тангенциальные деформации бетона в 6 раз превышают такие же деформации чугунных тубингов, которые являются упругими. На 35 сутки эта разница составила 3, на 110 сутки – 1,8 раза. Это вызвано тем, что в первые сутки нагружения произошла взаимокompенсация части деформаций ползучести с деформациями температурного расширения бетона. При этом на третьи сутки упругая часть деформаций составила 52 %, на 35 сутки – 75 % от общих измеренных. Таким образом, в данном случае комбинированная крепь деформировалась по сочетанию IVб.

Натурные наблюдения, проведенные в других геологических условиях, показали, что большие деформации ползучести бетона характерны для пород с большой скоростью нагружения. В соляных породах, где твердение бетона происходит при положительных температурах и при небольших скоростях нагружения, деформации ползучести незначительны. Например, в стволе № 9 Закарпатского солерудника

Таблица 1
Деформации слоев крепи

Вид измеряемых деформаций крепи	ϵ , 1×10^3 за период, в сутках		
	5	35	110
тангенциальные деформации бетона, ϵ_0	60	120	123
температурно-влажностные деформации бетона, ϵ_t	-42	-36	-25
тангенциальные с учетом температурных, ($\epsilon_0 + \epsilon_t$)	102	156	148
тангенциальные деформации тюбингов, ϵ_0	10	60	65

Примечание: знак «+» означает сжатие, знак «-» расширение бетона

Таблица 2
Напряжения в слоях и соответствующие им расчетные величины внешних нагрузок

Глубина, м	$\sigma_{01}^{(1)}$	P_0	$\sigma_{01}^{(2)}$	$\sigma_0^{(2)}$	$\sigma_0^{(3)}$	P_1	P_2	P_3	$(P_1+P_2+P_3)/3$	P
471	105	2.22	70	13	80	6.26	7.50	6.35	6.30	8.52
496	168	3.22	50	11	57	4.44	6.13	4.55	5.04	8.26
541	161	3.15	65	12	68	5.61	5.93	5.78	5.79	8.94
602	41	0.80	26	8	34	2.54	4.02	3.11	3.20	4.00

нагрузки на внешний контур крепи, рассчитанные по деформациям в спинке тюбингов, составили $P = 4,5$ МПа, а по деформациям в бетоне – $P = 4,7$ МПа, т.е. деформации ползучести составили всего 4 % от общих измерений. Одновременное измерение деформаций в бетоне и тюбингах, и последующий расчет нагрузок на крепь позволило оценить величины упругих и неупругих напряжений в слоях комбинированной крепи.

Крепь из двух тюбинговых колонн и бетона представляет собой сложное инженерное сооружение. Она включает в себя разнородные материалы: чугун, бетон, свинец. Расчет такой крепи производится как шестислойная оболочка, некоторые слои которых содержат периодические неоднородности. Тюбинговые колонны выполнялись из разных марок чугуна: внешняя колонна – из чугуна марки СЧ 21-40, внутренняя колонна из чугуна ТГ-01 (производство Польши) или из чугуна марки ВЧ 50-2. Известно, что модуль упругости чугуна марки ВЧ 50-2 в два раза больше, чем у СЧ 21-40. Бетонный заполнитель, который находится между двумя тюбинговыми колоннами, обладает свойством изменять свой объем при

увлажнении и изменении температуры. В свинце, который присутствует в конструкции в виде сплошной прокладки между тюбингами, при больших нагрузках проявляется свойство текучести. Исследования характера распределения напряжения в элементах трехслойной крепи проводились в стволах 1, 2, 3 Яковлевского рудника.

Внешняя тюбинговая колонна на первом этапе работает как временная крепь. Поэтому тюбинги воспринимают часть нагрузки. Интенсивность и величина нагрузок зависит от типа и температуры пород и продолжительности раздельной работы крепи. После установки внутренней колонны и бетонирования межтюбингового пространства начинается совместная работа всех слоев крепи. В табл. 2 приведены результаты измерений в элементах многослойной крепи и расчета нагрузок на внешний контур на разных стадиях нагружения: $\sigma_{01}^{(1)}$, P_0 – тангенциальные напряжения во внешней колонне и расчетные нагрузки на крепь в период их раздельной работы; $\sigma_{01}^{(2)}$, P_1 – тангенциальные напряжения во внешней колонне и расчетные нагрузки на крепь в период со-

вместной работы слоев; $\sigma_{\theta}^{(2)}$, P_2 - тангенциальные напряжения в бетоне и расчетные нагрузки на крепь в период совместной работы слоев; $\sigma_{\theta}^{(3)}$, P_3 - тангенциальные напряжения во внутренней колонне и расчетные нагрузки на крепь в период совместной работы слоев; P - полная суммарная нагрузка на внешний контур крепи.

Расчет нагрузок на крепь по измеренным в слоях деформациям производилось по методике [5].

Из результатов, приведенных в табл. 2 видно, что самыми напряженными являются тубинги внешней колонны. Они еще в период раздельного нагружения воспринимают значительные нагрузки. Например, на глубинах 496 и 541 м тангенциальные напряжения в спинке тубингов внешнего ряда достигли расчетных величин. С учетом совместного деформирования всех слоев крепи величины напряжений превысили расчетные на 30 %. На-

пряжения в междуколонном бетоне и тубингах внутренней колонны меньше чем расчетные. При этом бетон не испытывает больших деформаций ползучести. Это объясняется тем, что он находится между двумя упругими слоями крепи. Однако температурно-влажностные деформации бетона могут влиять на характер передачи напряжений между слоями: при его усадке произойдет разгрузка внутренней колонны, а при набухании - ее дополнительное нагружение.

Вывод

В результате долговременных натуральных наблюдений в сложных горно-геологических условиях апробированы методы диагностики и мониторинга состояния крепи и раскрыты механизмы передачи напряжений в комбинированной крепи. Результаты исследований были использованы Проектной конторой треста «Шахтспецстрой» при проектировании крепи стволов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казикаев Д.М., Сергеев С.В., Борисов О.П. Закономерности формирования нагрузок на крепь ствола сооружаемого с применением замораживания пород. //Шахт. стр.-во. - 1984. - № 3.

2. Казикаев Д.М., Сергеев С.В., Черныш А.С. Нагружение крепи ствола сооруженного в солях. - ВКН: Механика подземных сооружений. - Тула: ТПИ, 1990.

3. Сергеев С.В., Мишедченко А.Д., Мудрик А.Л. Нагружение крепи глубоких стволов рудника "Скалистый". //Горный журнал. - 2000. - № 2.

4. Сергеев С.В. Результаты обследования замерных станций в стволе № 1 Яковлевского рудника. //Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях. - Тр. 8 межд. симп-ма. - Белгород, 2005.

5. Булычев Н.С., Казикаев Д.М., Сергеев С.В. Использование методов расчета многослойной крепи при интерпретации результатов натуральных наблюдений. - В кн.: Вопросы горного давления. - Новосибирск: Изд-во ИГД СО АН СССР, № 42, 1984.

Коротко об авторах

Сергеев С.В. - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой инженерной геологии и гидрогеологии Белгородского государственного университета.