

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ

УДК 622.257.1

Е. Б. Росстальной

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТАМПОНАЖА ЗАКРЕПНЫХ ПУСТОТ КАПИТАЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Угольная промышленность является одной из важнейших горнодобывающих отраслей. В последние годы наметилась тенденция существенного повышения роли угля в топливно-энергетическом балансе России. Объемы добычи угля будут возрастать. Так, в Кузбассе к 2025 г. планируется увеличить годовую добычу угля со 170 до 270 млн. тонн, что потребует строительства новых угольных шахт современного технического уровня. Легкодоступные месторождения угля в основном отработаны. Строительство новых шахт будет осуществляться на больших глубинах в осложненных горно-геологических условиях. При этом особую актуальность приобретают вопросы проведения, крепления и поддержания капитальных выработок, предназначенных для эксплуатации на весь период работы шахт.

Для крепления капитальных горных выработок применяют арочные металлические, анкерные, монолитные бетонные, металло-бетонные, сборные бетонные и железобетонные крепи. Несмотря на то, что в настоящее время применяется очень большое число самых разнообразных конструкций крепей, проблема сохранения выработок в устойчивом состоянии остается одной из наиболее актуальных, особенно для угольной промышленности. Наибольшее распространение получила арочная металлическая крепь, объемы применения которой составляют более 60 %. В сложных горно-геологических условиях предпочтительно применять сборные конструкции крепей (например, гладкостенную тюбинтовую крепь ГТК), которые способны воспринимать нагрузку сразу после их установки, технологичны в изготовлении и полностью механизировано их возведение.

В последние годы вполне определенно наметилась тенденция к максимальному использованию свойств массива горных пород и их управлению, вовлечению его в совместную работу с крепью для уменьшения ее материалоемкости и стоимости. Одним из способов улучшения свойств массива горных пород и управления его состоянием является последующее инъекционное упрочнение совместно с тампонажем закрепного пространства. Глубинное инъекционное упрочнение достаточно трудоемко ввиду необходимости бурения большого количества скважин. Вместе с тем, уже при тампонаже закрепных пустот отме-

чен на практике эффект инъекционного упрочнения цементным молоком пород приkontурной зоны. Учет эффекта инъекционного упрочнения пород при тампонаже закрепных пустот требует изучения влияния тампонажа на напряженно-деформированное состояние массива горных пород, возможности уменьшения нагрузок на крепь и разработку способов контроля состояния массива.

На основании вышеизложенного представляется актуальным совершенствование технологии тампонажа закрепных пустот на основе контроля состояния массива горных пород вокруг капитальных выработок. Основная идея работы состоит в учете эффекта инъекционного упрочнения массива горных пород цементным молоком при заполнении закрепных пустот тампонажным материалом.

В процессе исследований рассматривались следующие вопросы:

- изучение процесса и оценка эффективности тампонажа закрепных пустот;
- совершенствование способов контроля состояния тампонажного слоя и упрочненных пород;
- разработка технологии контролируемого тампонажа закрепных пустот с применением инвентарной и передвижной изолирующих оболочек.

Для снижения трудозатрат при тампонаже закрепных пустот в горных выработках с рамной крепью и железобетонной затяжкой был выполнен ряд экспериментов. Для этого была разработана лабораторная установка, состоящая из вертикального стенда, растворосмесителя и пневмораспределонагнетателя. Вертикальный стенд позволял изменять зазоры между затяжками. При этом учитывалось, что на практике расстояние между затяжками редко превышает 5 см. Результаты экспериментов по выбору составов растворов и режимам их нагнетания в закрепное пространство приведены в работе [1]. Результаты экспериментов показали, что при подаче раствора в закрепное пространство пневмонагнетателем раствор быстро теряет подвижность, что практически позволяет применять этот способ без потерь раствора. При этом давление нагнетания раствора не должно превышать 0,4 МПа. При повышении давления нагнетания утечки раствора через щели между

затяжками не избежать. Раскрытие щели не должно превышать 0,03 м при массовом соотношении цементно-песчаного раствора Ц:П:В = 1:5:1,1.

В последние годы, особенно за рубежом (например, в Германии), применяют технологию тампонажа закрепленного пространства в выработках, закрепленных рамной крепью с решетчатой затяжкой и укладкой за нее матерчатого рулонного покрытия. В этом случае для предотвращения утечки раствора через лобовую поверхность выработки на рамы крепи в каждом цикле необходимо укладывать матерчатые рукава и, в первую очередь, нагнетать раствор в эти рукава. Заполненные твердеющей смесью рукава обеспечивают распор рам крепи и плотный контакт между породным контуром и рамами.

Одним из эффективных способов, обеспечивающих снижение затрат на сооружение и поддержание капитальных горных выработок при одновременном обеспечении устойчивого состояния крепи в сложных горно-геологических условиях, является создание комбинированных многослойных конструкций крепей за счет введения в систему "крепь – массив" тампонажного слоя.

Одним из вариантов такого вида крепи является сборная железобетонная тюбинговая крепь ГТК в сочетании с тампонажем закрепленного пространства. С целью изучения работы такой комбинированной конструкции совместно с институтом КузНИИшахтострой были проведены исследования в лабораторных условиях методом моделирования на эквивалентных материалах. Результаты лабораторных исследований приведены в работе [2].

В натурных условиях установление закономерностей совместного деформирования системы "крепь – тампонажный слой – массив" осуществлялось на 12 замерных станциях в выработках, закрепленных сборной железобетонной тюбинговой крепью. При этом использованы динамометрические крепи конструкции КузНИИшахтостроя. Исследования проведены на шахтах им. 50-летия Октябрьской революции, "Стахановская", "Казахстанская", "Саранская", "Тентекская". Результаты измерений приведены на рис. 1. В качестве критерия устойчивости принят критерий КузНИИшах-

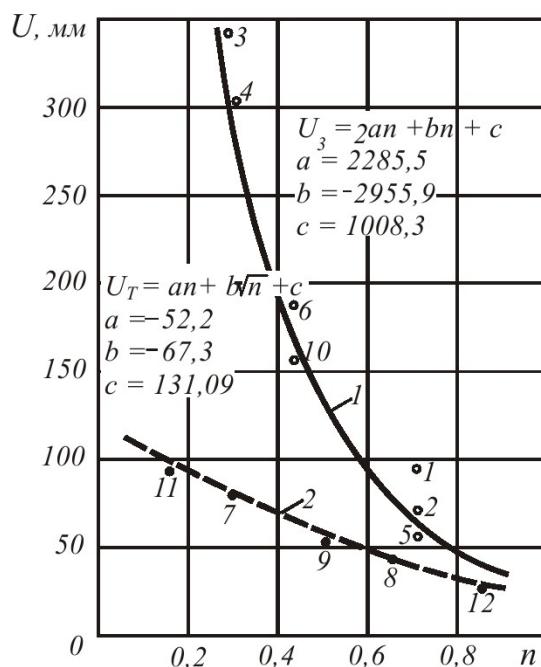


Рис. 1. Графики смещений массива горных пород U в зависимости от критерия устойчивости n :

1 – при креплении крепью ГТК с забутовкой породной мелочью; 2 – при креплении крепью ГТК с тампонажем закрепленного пространства

тостроя в виде отношения прочности пород в массиве к величине напряжения.

В процессе разработки способов контроля состояния тампонажного слоя и упрочненных пород исследованы реометрический и геоэлектрический способы в лабораторных и натурных условиях.

Суть реометрического способа заключается в бурении шпуров по контуру выработки, изоляции участка шпура герметизирующими устройством, подаче жидкости или газа в массив на изолированном участке шпура, регистрации расхода, давления и времени нагнетания, определении проницаемости массива. При этом фильтрующая способность массива оценивается скоростью падения давления в аккумулирующей емкости или расходом жидкости. Передвигая герметизирующее устройство по длине шпура, можно установить границу зоны нарушения и распределение коэффици-

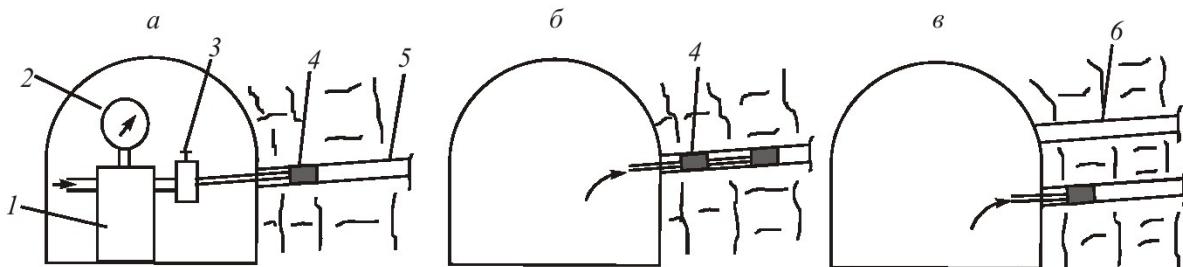


Рис. 2. Схемы реометрических измерений с одним изолирующим пакером (а), с двумя пакерами (б), с дополнительной скважиной (в):

1 – аккумулирующая емкость; 2 – манометр; 3 – кран; 4 – изолирующий пакер;
5 – контрольная скважина; 6 – дополнительная скважина

ента трещиноватости в пределах нарушенной зоны.

В зависимости от применяемого расчетного аппарата, контролируемым параметром является коэффициент проницаемости K_{pr} , поглощающая способность массива q или коэффициент трещинной пустотности m (отношение объема пустот к объему исследуемого участка массива).

Нагнетание жидкости или газа производят в одиночные скважины по одной из трех нижеприведенных схем:

- при переменной величине испытываемого интервала по схеме суммарного нагнетания, передвигая герметизирующее устройство (пакер) с одной манжетой от забоя к устью скважины, либо производя поочередное бурение и нагнетание с герметизацией только устья скважины (рис. 2, а);

- при постоянной величине испытываемого интервала дифференцированно на каждом участке шпура, используя герметизирующее устройство с двумя манжетами, либо с одной манжетой путем поочередного бурения и нагнетания (рис. 2, б).

- по схемам одной из выше описанных при наличии параллельного дополнительного шпура, служащего для повышения проницаемости пород и повышения тем самым точности измерений (рис. 2, в).

Для определения остаточной пустотности массива после дополнительного инъекционного упрочнения в процессе тампонажа в шпуры после нагнетания в них жидкости или газа по вышеприведенной методике дополнительно поинтервально нагнетают тампонажный раствор. При этом прогнозное изменение коэффициента пустотности упрочненного массива при удалении от контура выработки определяют из соотношения [3]

$$\frac{m(r)}{m(1)} = \frac{f_1(r)}{f_2(1)} - \frac{f_2(r)}{f_2(1)}, \quad (1)$$

где $m(r)$ – коэффициент трещинной пустотности как функция безразмерного радиуса; $m(1)$ – значение m на контуре выработки; $f_1(r)/f_2(r)$ – измеренные распределения поглощающей способности горного массива вокруг выработки жидкости и тампонажного раствора; $f_1(1)/f_2(1)$ – измеренные поглощающие способности горного массива на контуре выработки жидкости и тампонажного раствора.

Величину $m(1)$ определяют по формуле [4]

$$m(1) = \frac{2U \cdot 1 + U^2 + m_H [R^2 - (1+U)^2]}{\frac{2}{f(1)} \int_1^R f(r) r dr}, \quad (2)$$

где m_H – коэффициент трещинной пустотности до проведения выработки; U – относительное (отнесенное к радиусу деформированного участка контура выработки) смещение пород на контуре выработки; R – относительный радиус влияния выработки; r – относительный текущий радиус.

Величину m_H принимают по данным геологического заключения. Величину U определяют либо путем проведения натурных замеров, либо расчетным путем, например по методике КузНИИшахтостроя или ВНИМИ.

Комплект геометрической аппаратуры для определения поглощающей способности массива состоит из двух основных частей: аккумулирующей емкости с манометром и герметизирующего устройства, связанного с емкостью соединительным шлангом.

Аккумулирующая емкость предназначена для создания запаса сжатого воздуха и жидкости при максимальном давлении 0,5–0,6 МПа. Объем аккумулирующей емкости может составлять 0,025 м³. В качестве аккумулирующей емкости может быть использовано серийно выпускаемое бытовое насосное ручное устройство типа ОП-1-12 объемом 0,012 м³, а остальная часть заполняется сжатым воздухом. Наполнение аккумулирующей емкости сжатым воздухом производят от шахтной сети или ручным насосом.

Герметизирующее устройство служит для подачи сжатого воздуха и изоляции исследуемого участка скважины с помощью манжет из вакуумной резины. В зависимости от особенностей конструкции различают герметизирующие устройства с одной или двумя манжетами. Применяются два известных типа герметизирующих устройств: с механическим распором и распором, осуществляемым пневматическим или гидравлическим способами.

В устройствах с механическим распором герметизация достигается за счет деформации резиновой манжеты при поступательном перемещении внешней трубы путем навинчивания натяжной гайки. Для обеспечения независимости сжатия двух манжет и повышения тем самым качества герметизации герметизирующее устройство снабжено установленными на полой тяге дополнительным приводом для сжатия нижнего уплотни-

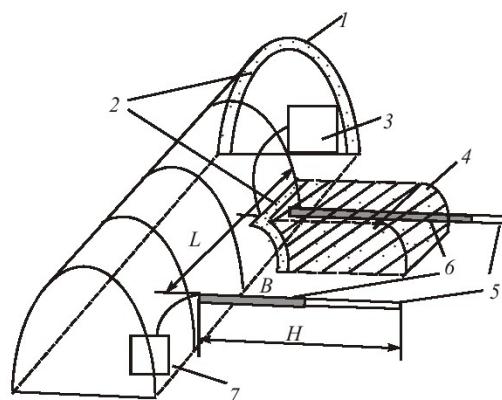


Рис. 3. Схема геоэлектрического контроля:

1 – контур выработки; 2 – тампонажный закрепленный слой; 3 – тампонажная установка; 4 – зона фильтрации цементного молока; 5 – контрольные скважины; 6 – электроды; 7 – измерительный прибор

тельного элемента и упором, который размешен в перфорированном патрубке над нижним уплотнительным элементом [5].

Суть геоэлектрического контроля состояния массива при тампонаже закрепных пустот заключается в следующем:

- контроль гидродинамических процессов заполнения трещин цементным молоком;
- оценка степени заполнения трещин цементным камнем и наличия остаточных пустот.

Схема геоэлектрического контроля дополнительного инъекционного упрочнения массива в процессе тампонажа закрепных пустот представлена на рис. 3.

На участке выработки 1 бурят параллельно две контрольные скважины 5 глубиной H на расстоянии L : одну в зоне тампонажа, другую – вне зоны. В скважины помещают электроды 6. В процессе тампонажа измерительным прибором 7 фиксируют изменение удельного электрического сопротивления контролируемого участка во времени $\rho(t)$ и при удалении от контура выработки $\rho(r)$. На основании полученной зависимости делают вывод о размерах зоны фильтрации цементного молока в массиве горных пород.

Измерения производили каротажным прибором конструкции КузГТУ по схеме четырехэлектродного зонда.

Экспериментальные исследования дополнительного инъекционного упрочнения массива в процессе тампонажа закрепных пустот выполнены в натурных условиях на опытном участке путевого квершлага гор. –260 м ш. "Юбилейная". Наиболее характерные результаты геоэлектрического контроля представлены на рис. 4.

Установлено, что на интервале $r = 0,67 \dots 1,0$ м от тампонажного слоя четко прослеживается зона цементации трещиноватой породы. Размер зоны цементации составляет: в боках выработки при высоте от почвы $h < 0,5R_B$ (радиус выработки) – 1,0 м; при $0,5R_B < h < 0,8R_B$ – 0,8–1,0 м; в кровле

выработки – 0,05–0,10 м.

В процессе технологии контролируемого тампонажа закрепных пустот разработана принципиальная технологическая схема тампонажа с вышеизложенными элементами системы контроля массива. Даны технические решения по использованию изолирующих оболочек для тампонажа. Приведены результаты контроля эффективности тампонажа. Описаны примеры опытного внедрения технологии тампонажа.

В качестве изолирующих оболочек предложено использовать опалубки КузНИИшахтостроя: передвижную металлическую и инвентарную щитовую металлическую. Передвижная опалубка используется и как временная ограждающая крепь. С целью обеспечения податливости системы "тампонажный слой – упрочненный массив" до тампонажных работ за зоной упрочнения образуют разгруженную зону взрыванием камуфлетных зарядов [6]. С целью повышения плотности системы "тампонажный слой – упрочненный массив" предложено бурение шпуров и взрывание в них зарядов осуществлять после проведения тампонажных работ в период схватывания тампонажного раствора [7].

При креплении выработок металлической арочной крепью в качестве изолирующей оболочки целесообразно использовать щитовую инвентарную опалубку, секции которой навешиваются на металлические арки. Щитовая инвентарная опалубка для заполнения пространства за крепью включает в себя секции щитов, соединяемых внахлест друг с другом и с секциями соседних щитов. Секции щитов снабжены устройствами для соединения с металлическими профилями арочной крепи и засовом, вставляемым в ручки-скобы.

Секции щитов представляют собой прямоугольную трапецию и соединяются между собой наклонными сторонами с нахлестом, образуя прямоугольную форму щита. Такая конструкция щитов обеспечивает соединение не только на закруг-

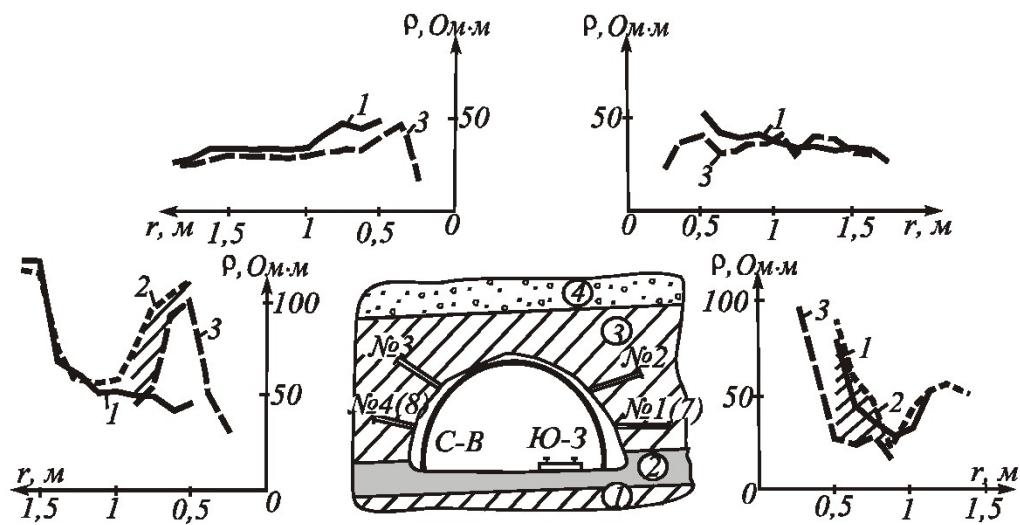


Рис. 4. Результаты геоэлектрического контроля состояния массива горных пород:
1 – за 3 мес до тампонажа, скв. 1–4; 2 – непосредственно перед тампонажем,
скв. 1–4; 3 – после тампонажа, скв. 7–8

лениях выработок, но и при непараллельной установки рам.

Результаты выполненных исследований позволяют сделать следующие основные выводы.

Тампонаж закрепных пустот как первая стадия последующего инъекционного упрочнения массива горных пород нашел достаточно широкое применение при строительстве и поддержании капитальных горных выработок угольных шахт. Однако его использование как самостоятельного способа крепления выработок не нашло должного применения из-за неизученности дополнительного инъекционного упрочнения массива горных пород в процессе тампонажа закрепного пространства.

Относительное распределение остаточной пустотности упрочненного массива горных пород после тампонажа реометрическим способом определяется разностью величин относительного распределения поглощающей способности воды и цементного молока, отнесенными к соответствующим величинам на контуре выработки.

Относительное распределение пустотности массива горных пород при удалении от контура выработки электрометрическим способом определяется величиной относительного удельного кажущегося сопротивления, отнесенными к соответствующим величинам вне зоны влияния выработки (в ненарушенном массиве). При этом оценка плотности заполнения пустот и трещин осуществляется

сравнением результатов замера до и после окончания тампонажных работ.

Коэффициент заполнения трещин цементным камнем при тампонаже закрепных пустот составляет 30–50 %. Размер зоны упрочнения пород при высоте от почвы $h < 0,5 R_B$ (радиус выработки) составляет 1,0 м; при $0,5 R_B < h < 0,8 R_B$ составляет 0,8–1,0 м; в кровле выработки – 0,05–0,10 м.

Качественный тампонаж обеспечивается применением передвижной металлической опалубки, щитовой инвентарной опалубки, или осуществляется за традиционную крепь, зазоры в которой не должны превышать 0,03 м при массовом соотношении цементно-песчаного раствора Ц:П:В = 1:5:1,1 и давлении нагнетания до 0,4 МПа.

Результаты работы использованы ОАО "Кузнишишахтстрой" при проектировании и реализации технологии тампонажа закрепных пустот с элементами контроля состояния массива на участках капитальных выработок 6 шахт Кузнецкого и 5 шахт Карагандинского угольных бассейнов [8]. В целом результаты опытно-промышленного внедрения технологии тампонажа закрепных пустот на угольных шахтах Кузнецкого и Карагандинского угольных бассейнов показали его эффективность при креплении металлическими арочными, монолитными бетонными и гладкостенными тюбинговыми крепями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Росстальной, Е. Б.* Тампонаж закрепных пустот как эффективный способ повышения устойчивости капитальных горных выработок. Труды IX Международной научно-практической конференции "Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности" : 18–21 сентября, Кемерово, 2007, 2007. – С. 129–130.
2. *Росстальной, Е. Б.* Лабораторные исследования влияния тампонажа закрепного пространства на несущую способность крепей методом эквивалентных материалов. – Кемерово: Вестник КузГТУ. – 2006. – №6. – С. 47–49.
3. А.с. № 989067 СССР, МКИ³ Е21 С39/00. Способ определения пустот горного массива вокруг выработок / В. А. Хямяляйнен, Е. Г. Дуда, Е. Б. Росстальной (СССР). – Заявл. 31.08.81; Опубл. 15.01.83; Бюл. № 2.
4. А.с. № 933999 СССР, МКИ³ Е21 С39/00. Способ определения трещиноватости горных пород вокруг выработок / В. А. Хямяляйнен, Е. Г. Дуда, Е. Б. Росстальной (СССР). – Заявл. 07.04.80; Опубл. 07.06.82; Бюл. № 21.
5. А.с. № 987076 СССР, МКИ³ Е21 С33/12. Устройство для изоляции опробуемого интервала скважины / В. А. Хямяляйнен, Е. Г. Дуда, Е. Б. Росстальной (СССР). – Заявл. 09.07.81; Опубл. 07.01.83; Бюл. № 1.
6. А.с. № 1025894 СССР, МКИ³ Е21 Д11/10. Способ возведения крепи горной выработки / В. А. Хямяляйнен, В. Д. Дулин, Ю. В. Бурков, Е. Г. Дуда, Е. Б. Росстальной (СССР). – Заявл. 31.03.82; Опубл. 30.06.83; Бюл. № 24.
7. А.с. № 1027400 СССР, МКИ³ Е21 Д11/00. Способ возведения крепи горных выработок / Ю. В. Бурков, В. Д. Дулин, Е. Г. Дуда, Е. Б. Росстальной (СССР). – Заявл. 10.03.82; Опубл. 07.07.83; Бюл. № 25.
8. Методические указания по технологии контролируемого тампонажа закрепных пустот вокруг капитальных горных выработок угольных шахт: КузНИИшахтстрой, КузГТУ. – Кемерово, 2007. – 67 с.

Автор статьи:

Росстальной

Евгений Борисович

– соискатель каф. теоретической и геотехнической механики