

*В.А. Волошин, С.В. Риб, М.А. Денисов, Е.В. Черешнева, В.С. Риб*

Сибирский государственный индустриальный университет

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Постоянное увеличение протяженности поддерживаемых подготовительных горных выработок в сложных горно-геологических условиях существенно ухудшает их состояние. Нарушение анкерной крепи имеет место в основном в выработках, подверженных влиянию очистных работ. К признакам опасных деформаций анкерной крепи горных выработок относятся: разрывы и провисания решетчатой или сетчатой металлической затяжки между подхватами; деформация шайб у анкеров с разрывом их отверстий; ослабленные или деформированные гайки на анкерах; отсутствие контакта подхватов с породами кровли или углем в боках выработки и др.

Зачастую такое положение объясняется, главным образом, несоответствием параметров применяемых крепей фактическим горно-геологическим условиям сооружения выработки. Известно, что структура, состав и прочностные свойства пород кровли могут значительно различаться в пределах крыла, блока шахты. Появление расслоений пород кровли существенно влияет на устойчивость горных выработок. По данным горно-геологического прогноза, выполняемого по инструкции [1], точно определить состав пород очень сложно.

Исходя из вышесказанного, возникает необходимость проведения исследований, направленных на:

– изыскание путей и средств обеспечения устойчивости подготовительных выработок за весь срок их службы в пределах всех частей шахтного поля;

– формирование рационального выбора конструкции элементов анкерной крепи в зависимости от изменяющихся горно-геологических и горнотехнических условий ведения горных работ.

На кафедре геотехнологии в СибГИУ такие исследования проводятся. На сегодняшний день охвачены девять угольных шахт Юга Кузбасса (двадцать три подготовительные выработки). Для достижения поставленных целей реализуется алгоритм, представленный на рис. 1.

В соответствии с алгоритмом проводятся проектирование параметров анкерной крепи,

горно-геометрический мониторинг достоверности запасов и численное моделирование напряженно-деформированного состояния массива в окрестности рассматриваемой горной выработки.

Проектирование параметров анкерной крепи (тип анкеров, их длина, шаг установки и т.д.) осуществляется по инструкции [2].

В целях установления необходимой и достаточной точности горно-геологической информации в алгоритм включен горно-геометрический мониторинг достоверности запасов [3]. Информационной основой такого мониторинга являются данные, полученные на уже отработанной части месторождения. Для этого сопоставляются геологоразведочные данные с параметрами, полученными в процессе ведения горных работ, что позволяет выявить закономерности пространственного изменения свойств угольных пластов и вмещающих горных пород. Анализ результатов сопоставления горных и разведочных работ очень важен с точки зрения безопасности при выполнении прогнозов опасных явлений (рис. 2).

Такой вид мониторинга дает возможность проверить и усовершенствовать процесс проектирования параметров крепи.

В случае сложных условий проведения и эксплуатации горной выработки применяется численное моделирование [5]. Используется программное обеспечение, разработанное на кафедре «Геомеханика» CoalPillar [6] и др.

К реализации принимается оптимальный вариант параметров анкерной крепи. По мере выполнения горных работ по проведению и креплению горной выработки появляется возможность уточнения горно-геологических условий по методикам, описанным в работах [7 – 9]. Предлагается при бурении разведочных скважин в кровлю горной выработки осуществлять отбор образца пород (керна). В лабораторных условиях определяются состав, структура и фактические физико-механические свойства пород кровли и ее тип. Затем в этих скважинах с целью выявления зон расслоений и трещиноватости массива проводятся видеоэндоскопические обследования.

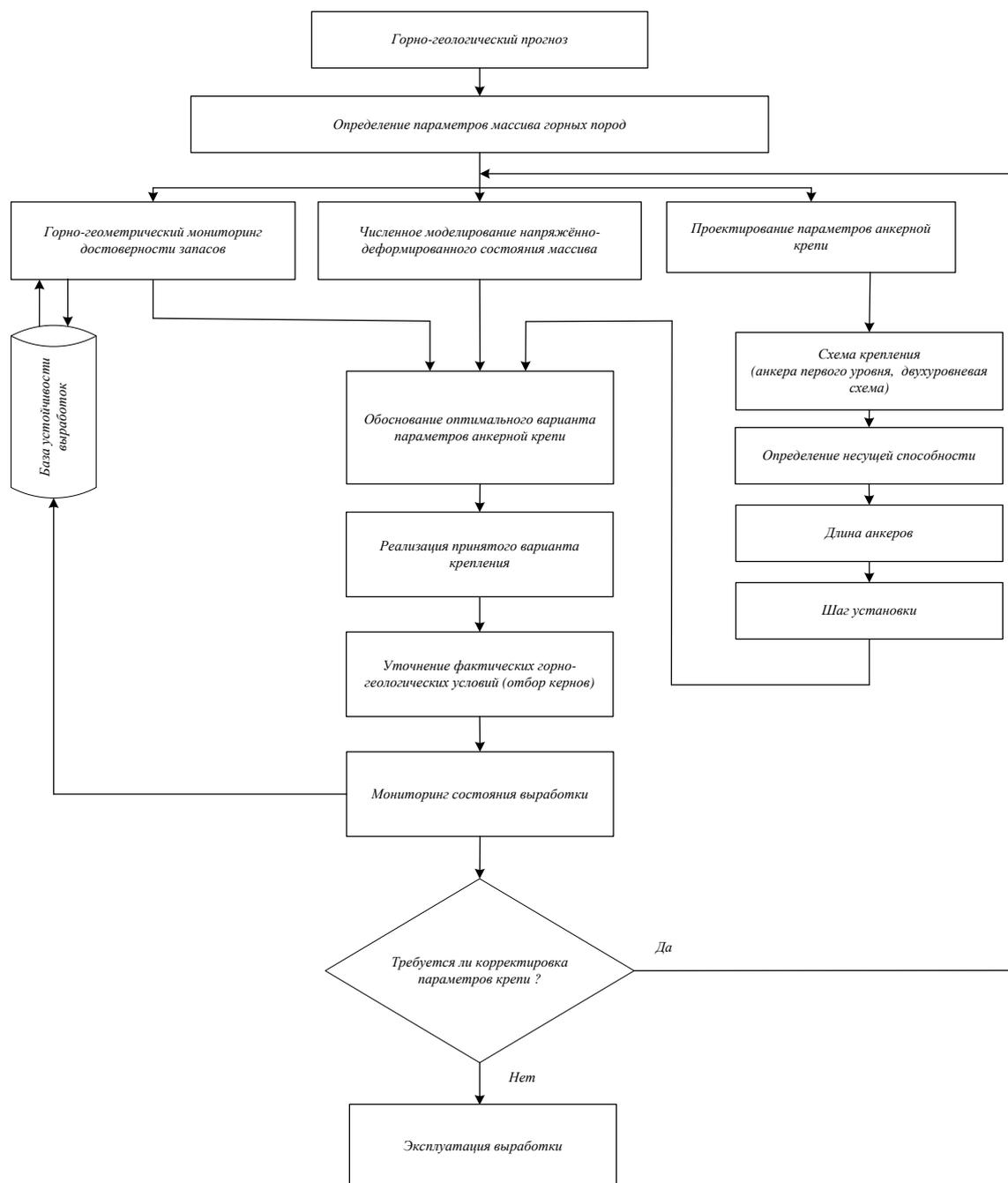


Рис. 1. Алгоритм обеспечения устойчивости подготовительных выработок

Постепенно происходит формирование базы устойчивости выработок (данные горно-геологических и горнотехнических характеристик проводимых горных выработок). В дальнейшем это позволит на участках с одинаковыми горно-геологическими условиями оперативно формировать исходные данные для расчета анкерной крепи.

Далее, согласно алгоритму, если мониторинг состояния выработки выявил критические деформации и смещения, то необходимо снова провести расчеты с учетом дополнительного усиления крепи.

В настоящей работе рассматриваются вопросы корректировки параметров анкерного крепления в штреках на основании результатов исследования прочностных свойств пород

по отобранному керну на примере строящейся шахты «Увальная» и шахты «Юбилейная».

Проведение вентиляционного штрека шахты «Увальная» осуществляется на основе расчетов параметров анкерной крепи по представленному горно-геологическому прогнозу. Схема к определению расчетного сопротивления пород кровли и боков приведена на рис. 3.

Расчетное сопротивление пород кровли в соответствии с инструкцией [2] определяется по формуле

$$R_c = \frac{R_{c1}m_1 + R_{c2}m_2 + \dots + R_{cn}m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} k_c k_{вл}, \quad (1)$$



Рис. 2. Цели и задачи мониторинга достоверности запасов [4]

где  $R_{с1}$ ,  $R_{сн}$  – сопротивление сжатию слоев пород, МПа;  $m_1$ ,  $m_n$  – мощности слоев пород, залегающих в кровле, м;  $k_c$  – коэффициент, учитывающий нарушенность массива пород поверхностями без сцепления либо с малой связностью; при отсутствии отбора керна принимается  $k_c = 0,6$  для III-го типа кровли;  $k_{вл}$  – коэффициент снижения сопротивления пород сжатию за счет воздействия влаги; в связи с отсутствием длительного обводнения пород в горной выработке (более 6 месяцев) принимается  $k_{вл} = 1$ ;

$$R_c = \frac{25 \cdot 4,5}{4,5} \cdot 0,6 \cdot 1 = 15 \text{ МПа.}$$

Величина расчетных смещений кровли  $U_m$  определяется по формуле

$$U_m = U_T k_\alpha k_{ш} k_b k_a, \quad (2)$$

где  $U_T$  – типовые смещения пород кровли, определяемые в зависимости от глубины и расчетного сопротивления пород в кровле сжатию по номограмме (рис. 4);  $k_\alpha$  – коэффициент степени связывания и упрочнения пород (принимается  $k_\alpha = 0,75$  при длине закрепления ампулами по всей длине шпура);  $k_{ш}$  – коэффициент влияния ширины выработки, рассчитываемый по формуле  $k_{ш} = 0,25(B - 1)$ ;  $k_{ш} = 0,25(5,2 - 1) = 1,05$ ;  $k_b$  – коэффициент влияния других смежных горных выработок, принимаемый равным  $k_b = 1$ , при расстоянии от них  $l \geq 15$  м;  $k_a$  – коэффициент, учитывающий расположение выработок, принимаемый равным  $k_a = 1$  для штреков, уклонов, бремсбергов и сопряжений;

$$U_m = 48 \cdot 1,05 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 50 \text{ мм.}$$

При расчетных смещениях кровли  $U_m = 50$  мм горные выработки закрепляют анкерной крепью с параметрами  $P_a$  и  $L_a$  при III-м типе кровли.

Для ширины выработки  $B = 5,2$  м сопротивление анкерной крепи  $P_a = 65 \text{ кН/м}^2$ , расчетная длина анкеров составит  $L_a = 2,6$  м.

При принятой длине основных анкеров по кровле  $L_a = 2,4$  м расчетное сопротивление анкерной крепи составит  $P_a = 85 \text{ кН/м}^2$ .

Несущая способность для анкеров А20В длиной  $L_a = 2,4$  м из стали марки А400С при закреплении на две полимерные ампулы ДАК-У,  $L = 600$  мм принимается  $N_a = 125 \text{ кН}$  согласно таблице № 1 приложения № 16 [2].

Документацией принят шаг установки основных анкеров  $c = 1,0$  м.

При обследовании выработки были отобраны образцы керна с глубины до 8,0 м. На рис. 5 представлена расчетная схема для определения параметров анкерной крепи в выработке по результатам лабораторных исследований керна.

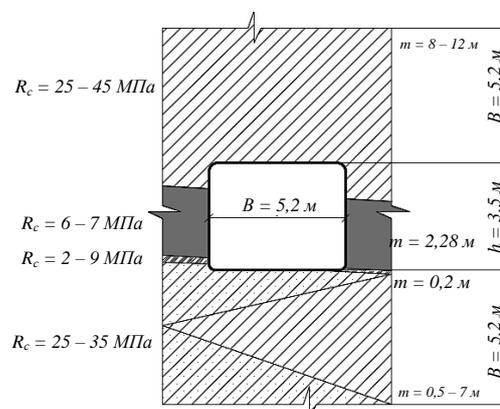


Рис. 3. Схема определения расчетного сопротивления пород сжатию

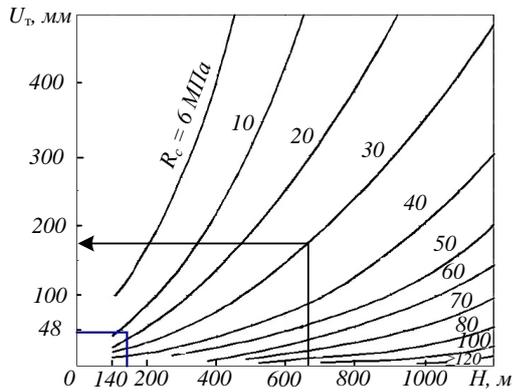


Рис. 4. Расчетные смещения кровли в массиве, мм

Расчетные значения прочности пород на одноосное сжатие с учетом коэффициента структурного ослабления 0,6 составили  $R_c = 16,1$  МПа. Согласно требованиям работы [2], параметры крепи принимаются аналогичными предыдущему расчету.

Наличие в кровле прослоя углистых аргиллитов (рис. 5) дает основание для предположения о снижении прочностных свойств пород в случае их обводненности и повышении риска потери устойчивости пород кровли выработки в период поддержания перед очистными работами.

Для обеспечения устойчивости пород кровли на весь срок поддержания выработки вне зоны влияния очистных работ при прогнозируемой обводненности рекомендуется устанавливать дополнительно канатные анкеры глубокого заложения АК01 длиной  $L = 6,0$  м, выходящие за зону распространения углистых аргиллитов, склонных к размоканию. Схема крепления выработки с учетом возведения крепи усиления представлена на рис. 6.

Своевременное обнаружение зоны расположения в кровле выработки весьма склонных к размоканию слабых углистых аргиллитов

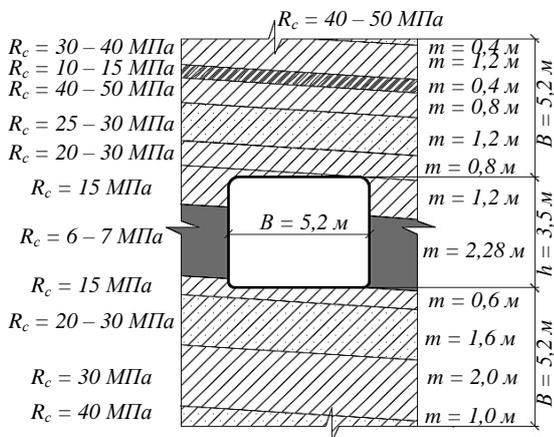


Рис. 5. Уточненные данные прочностных свойств пород по отбору керна

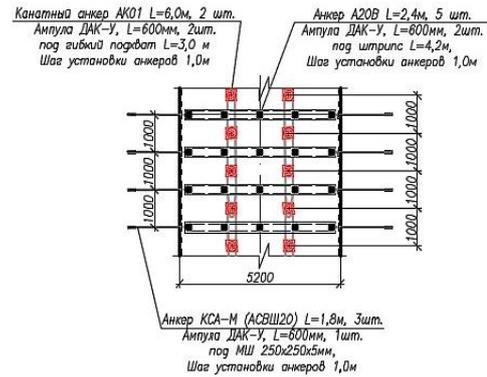
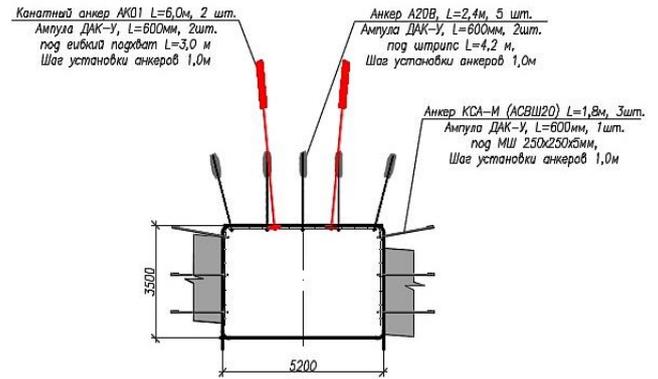


Рис. 6. Схема крепления вентиляционного штрека шахты «Увальная»

позволило не допустить аварийных смещений пород кровли и предупредительными мероприятиями избежать ремонта выработки в сезон паводковых вод.

При расчете параметров анкерного крепления конвейерного штрека в условиях шахты «Юбилейная» (рис. 7) расчетное сопротивление пород кровли составило  $R_c = 16,3$  МПа.

Расчетом принимаются III-ий тип кровли по обрушаемости и I-ый класс по устойчивости – неустойчивая кровля. Крепление выработок необходимо осуществлять по двухуровневой схеме с применением анкеров глубокого заложения АК01.

Проведенные исследования по уточнению фактических свойств вмещающих пород в кровле конвейерного штрека с отбором керна позволили уточнить исходные значения для расчета. Расчетное сопротивление пород кровли составило  $R_c = 36,9$  МПа.

Схема к определению расчетного сопротивления пород сжатию представлена на рис. 8.

Уточненные фактические физико-механические свойства горных пород кровли конвейерного штрека позволили сократить на 17 % затраты на крепление одного погонного метра выработки путем сокращения одного канатного анкера и повысить на 30 % темпы проведения без снижения устойчивости выработки

за счет отставания от забоя установки канатных анкеров глубокого заложения.

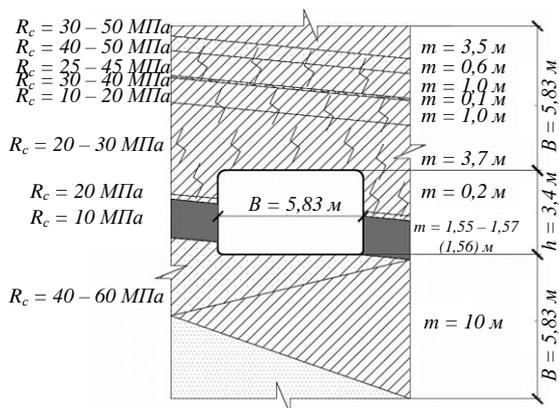


Рис. 7. Схема к определению расчетного сопротивления пород сжатию

**Выводы.** Реализация предлагаемого алгоритма повышения устойчивости подготовительных горных выработок с применением горно-геометрического мониторинга достоверности запасов и численного моделирования при проектировании параметров анкерной крепи позволит: определять фактическую структуру вмещающих пород подземных горных выработок при их проведении и эксплуатации; обосновать правильность выбора параметров анкерной крепи на основе фактической горно-геологической информации; на стадии эксплуатации горной выработки скорректировать параметры анкерной крепи, полученные при проектировании; обеспечить безопасное и безаварийное поддержание подготовительных выработок на основе разрабатываемых дополнений к действующим паспортам проведения и крепления.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструкция по геологическим работам на угольных месторождениях Российской Федерации. – СПб.: ВНИМИ, 1993. – 147 с.
2. Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах (утверждена приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17.12.2013, №610, зарегистрирована в Минюсте РФ 19.02.2014 г., № 31354).
3. Шаكلةин С.В. Мониторинг достоверности запасов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 12. С. 67 – 71.
4. Рогова Т.Б. Роль горно-геометрического мониторинга достоверности запасов в обеспечении безопасности горных работ // Вестник КузГТУ. 2010. № 3. С. 35 – 38.

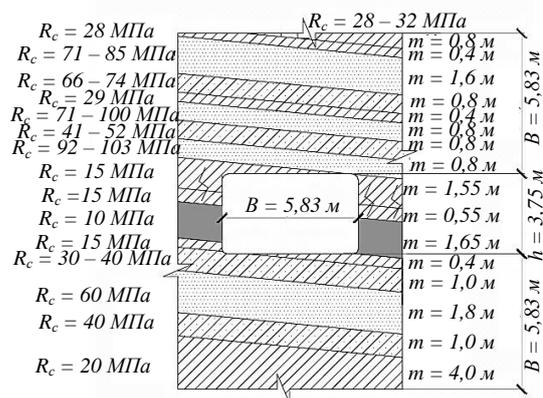


Рис. 8. Уточненные данные прочностных свойств пород по отбору керна

5. Риб С.В., Домрачев А.Н., Волошин В.А. Оценка соответствия параметров анкерной крепи горной выработки, принятых по нормативным документам и по результатам численного моделирования // Вестник СибГИУ. 2015. № 4. С. 30 – 35.
6. Риб С.В., Волошин В.А., Фрянов В.Н., Максимов А.А., Борзых Д.М., Никитина А.М. Численное моделирование методом конечных элементов напряженно-деформированного состояния углеродного массива при переходе очистным забоем передовой выработки // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 3. С. 414 – 422.
7. Рогачков А.В., Позолотин А.С., Исамбетов В.Ф., Муравский П.И., Гречишкин П.В. Применение современных технических средств мониторинга для оценки соответствия проектных параметров анкерной крепи изменяющимся условиям проведения подземных выработок // Уголь. 2012. № 12. С. 38 – 40.
8. Гречишкин П.В., Хаймин А.В., Позолотин А.С., Рогачков А.В., Разумов Е.А. Особенности технического аудита подготовительных выработок угольных шахт, закрепленных анкерной крепью // Уголь. 2013. № 8. С. 89 – 90.
9. Риб С.В., Фрянов В.Н., Зиганшин А.Г., Петров А.С., Борзых Д.М., Никитина А.М. Применение инновационных технических средств для корректировки существующей методики выбора параметров анкерной крепи горных выработок // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 3. С. 354 – 360.

© 2016 г. В.А. Волошин, С.В. Риб, М.А. Денисов, Е.В. Черешнева, В.С. Риб  
Поступила 23 декабря 2016 г.