

что требует применения специальных мероприятий и корректировки паспортов крепления подготовительной выработки.

Выводы. На основе анализа результатов моделирования подтверждается необходимость разработки мероприятий по приведению в безопасное состояние конвейерного штрека. Понижение напряжений в боках выработки на потенциально опасном участке может быть достигнуто за счет изменения структуры пород кровли путем анкерования. При этом увеличится площадь опоры кровли на бока выработки, уменьшится удельное давление на почву пласта, зона максимума опорного давления от краевой части переместится в глубь целика.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Предотвращение динамических и газодинамических явлений при подземной разработке угольных пластов / Е.А. Плотников, В.В. Дырдин, И.С. Елкин, Т.Н. Гвоздкова. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2010. – 159 с.
2. Цейслер В.М. Полезные ископаемые в тектонических структурах и стратиграфических комплексах на территории России и ближнего зарубежья: Учебное пособие. – М.: Университет, 2007. – 127 с.
3. Положение о порядке и контроле безопасного ведения горных работ в опасных зонах. – СПб.: ВНИМИ, 1994. – 28 с.
4. Р и б С.В., Б а с о в В.В. Методика численного исследования напряженно-деформированного состояния неоднородных угольных целиков с применением современных компьютерных технологий // Вестник СибГИУ. 2015. № 4 (14). С. 22 – 26.
5. Р и б С.В., Ф р я н о в В.Н. Разработка комплекса проблемно-ориентированных программ для численного моделирования напряженно-деформированного состояния неоднородных угольных целиков // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 3. С. 367 – 372.
6. Классификация запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Приказ МПР РФ от 11.12.2008 г. № 278.
7. Р и б С.В., Б а с о в В.В. Методика подготовки исходных данных для решения двумерных задач численного моделирования неоднородных угольных целиков // Вестник СибГИУ. 2014. № 4 (14). С. 11 – 13.

© 2016 г. С.В. Риб, В.В. Басов,
А.М. Никитина
Поступила 15 марта 2016 г.

УДК 622.831:622.251.8

С.В. Риб, В.А. Волошин, А.В. Зелинский, В.Н. Фрянов

Сибирский государственный индустриальный университет

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ГЕОМАССИВЕ И СДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ НАКЛОННЫХ СТВОЛОВ В УСЛОВИЯХ ШАХТ ЕРУНАКОВСКОГО РАЙОНА

В настоящее время на угольных месторождениях Ерунаковского геолого-экономического района все угольные шахты вскрываются наклонными стволами. Одним из основных этапов строительства наклонных стволов является сооружение их устьев. Сложные горно-геологические условия определяют выбор способа проведения устья, от которого зависят как сроки строительства, так и уровень безопасности [1]. Важное значение уделяется

проведению стволов в наносах (слабых неустойчивых и обводненных породах) до коренных пород. Так, например, на шахте «Костромовская» в сложных горно-геологических и гидрогеологических условиях строительство устья наклонного ствола в наносах подземным способом затянулось на месяцы; строительство сопровождалось вывалами пород и разрушением крепи на протяженном участке [2].

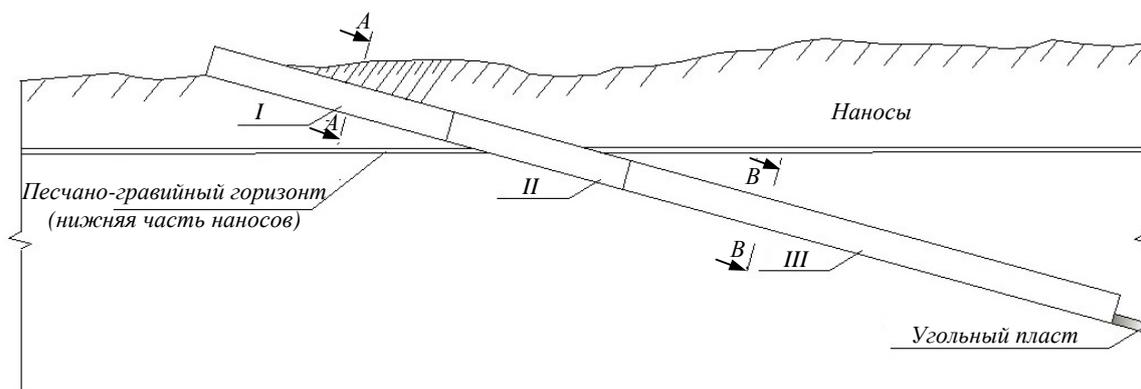


Рис. 1. Схема проведения наклонного ствола

На другой угольной шахте Ерунаковского района проведение наклонных стволов арочной формы в наносных глинистых обводненных породах (а по коренным породам с дизъюнктивными нарушениями) сопровождалось интенсивным отжимом глинистых пород с боков и деформациями элементов крепи.

В горной практике нашли применение следующие способы проведения устьев наклонных стволов: открытым котлованом, горным и комбинированным способами. В особо сложных условиях применяются специальные способы проходки с предварительным и последующим инъецированием пород для их закрепления и повышения прочности.

По существующим технологиям проведения наклонный ствол разбивается на три участка (рис. 1): участок I — устье ствола, участок II — переходная зона, участок III — протяженная часть наклонного ствола. Устье обычно сооружается открытым котлованом (рис. 2).

Переходная зона представлена на цоколе коренных пород слоем гравия и песка. Воды песчано-гравийного слоя напорные, что

осложняет ведение технологических процессов. Не менее важное значение имеет этап проходки протяженной части стволов в коренных породах. На участке III (рис. 3) протяженная часть ствола проходится горным способом.

В связи с вышеописанными проблемами для обеспечения безопасности и эффективности ведения горных работ, а также для снижения опасности вывалов и обрушений при проведении наклонных стволов разработана комплексная методика исследований состояния массива горных пород и элементов крепи (рис. 4).

Методика предусматривает следующие исследования:

- 1 — визуальное обследование приконтурного массива горных выработок;
- 2 — визуальное обследование состояния крепи кровли и боков горной выработки;
- 3 — визуальное-инструментальное обследование пород кровли на наличие процессов расслоения пород;
- 4 — инструментальный контроль конвергенции вмещающих пород в окрестности горных выработок;

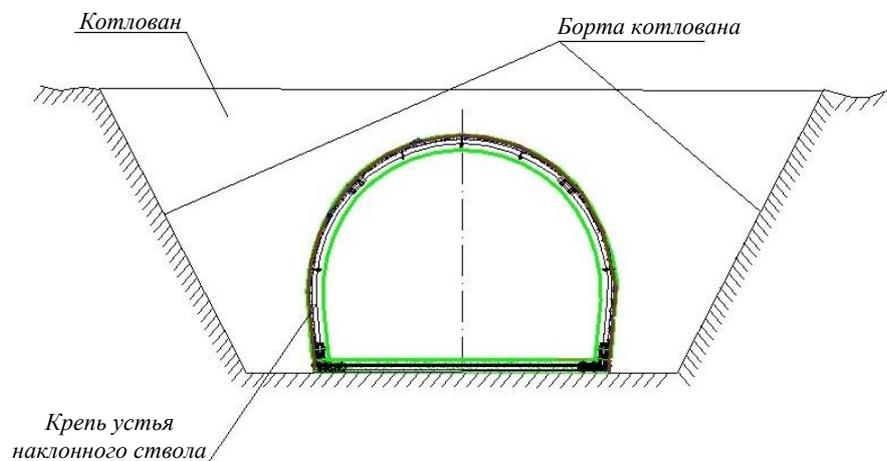


Рис. 2. Сечение устья наклонного ствола (сечение A – A на рис. 1)

5 – наблюдение за сдвижением горных пород и земной поверхности;

6 – физическое моделирование на эквивалентных материалах;

7 – численное моделирование методом конечных элементов (МКЭ).

Визуальное обследование приконтурного массива горных выработок является предварительным этапом в повышении безопасности ведения горных работ в выработках. Основной задачей этого этапа является выявление и предотвращение развития внешних признаков опасных деформаций.

Внешними признаками опасных деформаций горной выработки и элементов крепи являются:

- наличие раскрытых трещин в кровле и боках выработок;
- вывалы пород из кровли между элементами крепи;
- вывалы угля из боков выработок, а также видимые отслоения приконтурных слоев пород кровли, заколы;
- разрушение элементов крепи;
- разрывы и провисания затяжки (опасными являются провисания, достигшие 0,5 м);
- резкое (непроектное) уменьшение высоты или ширины выработки.

Визуальному осмотру подвергают элементы крепи в выработке, определяют их видимые деформации, наличие на них повреждений, смятий.

Работоспособность элементов крепи оценивается визуально, оценивается состояние пород и крепи. Фиксируют все случаи деформаций опорных, несущих и ограждающих элементов. После проведения визуального мониторинга обосновывают необходимость проведения мониторинга визуально-инструментальным методом.

Визуально-инструментальный метод является неотъемлемой частью визуального обследования, при реализации которого измеряют ширину и высоту выработки, параметры пучения почвы, параметры элементов крепи и др. При этом используют рулетки, горный компас, фотоаппарат, угломер, а также результаты ви-

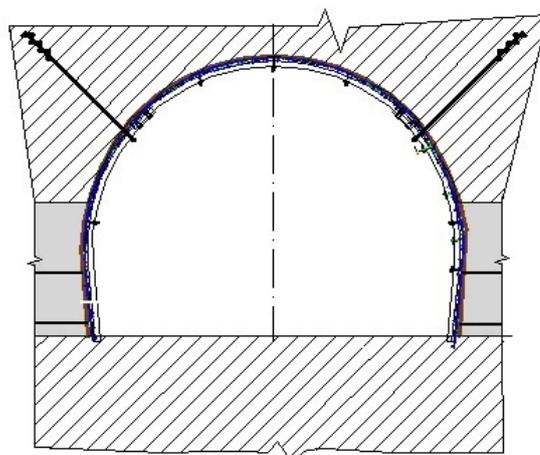


Рис. 3. Сечение протяженной части наклонного ствола (сечение В – В на рис. 1)



Рис. 4. Структурная схема комплексного исследования

зуального осмотра фактического строения кровли и боков видеоэндоскопом. Эндоскопический метод применяется для более детального обследования углеродного массива вокруг выработки, выявления причины, характера и параметров расслоения и визуализации фактического строения и состава пород.

Для исследований эндоскопическим методом используют промышленный эндоскоп Wohler VIS 240 с функцией записи на электронный носитель. Эндоскоп Wohler VIS 240 представляет собой аккумуляторный эндоскоп со встроенным монитором 5,6 дюймов (14,22 см), зондом длиной 20 м и цветной камерой. Конструктивно эндоскоп выполнен в виде чемодана размерами 510×430×170 мм, массой 7 кг. Питание осуществляется от двух аккумуляторов (12 в; 1,2 А·ч). Время непрерывной работы 2 часа.

Для оперативного определения зон повышенной трещиноватости, нарушенности, фактического состава и структуры пород проводят бурение шпуров (скважин) в приконтурном массиве диаметром не менее 43 мм (рис. 5). Во время работ ведется журнал, в котором регистрируют все процессы и другие данные. Началом видеофиксации считается момент установки зонда у устья шпура. Ход работы представляет собой плавное перемещение зонда до забоя и обратно. При этом ведется визуальное наблюдение за получаемым изображением и запись его на электронный носитель. Начало и конец

каждого прослойка, зоны трещиноватостей определяют по меткам на зонде.

Величину раскрытия трещин определяют опытным путем в зависимости от масштаба изображения. Полученные видеоматериалы используют для анализа особенностей исследуемого участка. Результатом обработки является детальный структурный разрез по участку с привязкой к маркшейдерскому плану горных работ.

По итогам проведенных работ выясняется происхождение и величина расслоений в кровле и боках горной выработки, распространение зон трещин и расслоений. Проведение инструментального обследования эндоскопическим методом позволяет выявить причины и характер появления различных изменений структуры пород массива.

Обнаруженные изменения горно-геологических условий в быстроменяющейся геомеханической обстановке представляют собой необходимые данные для принятия технических и технологических решений.

Инструментальный метод заключается в оборудовании наблюдательных станций, проведении измерений деформаций и смещений с помощью *контурных* и *глубинных* реперов.

Контурные репера закрепляются на контуре выработки (рис. 6). Устанавливают пять реперов: 1 – 4 в боках и 5 в кровле выработки. Измерения осуществляют рулеткой или стойкой ВНИМИ СУ-2. Между реперами 1 и 2 натягивают горизонтальную металлическую струну для измерения смещений кровли, от которой

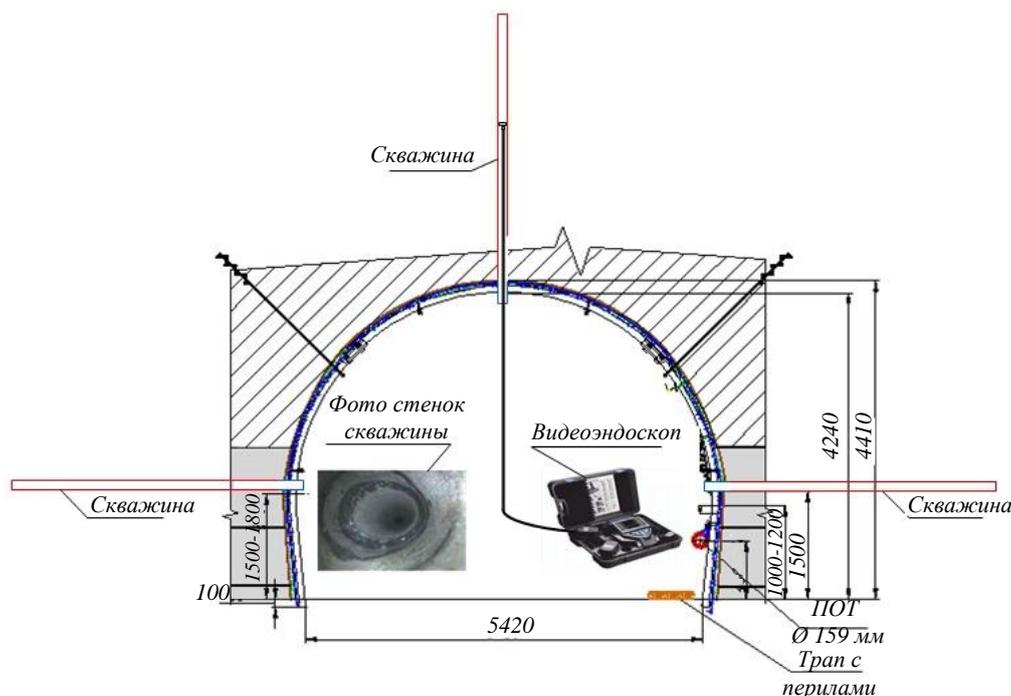


Рис. 5. Расположение скважин при осмотре видеоэндоскопом

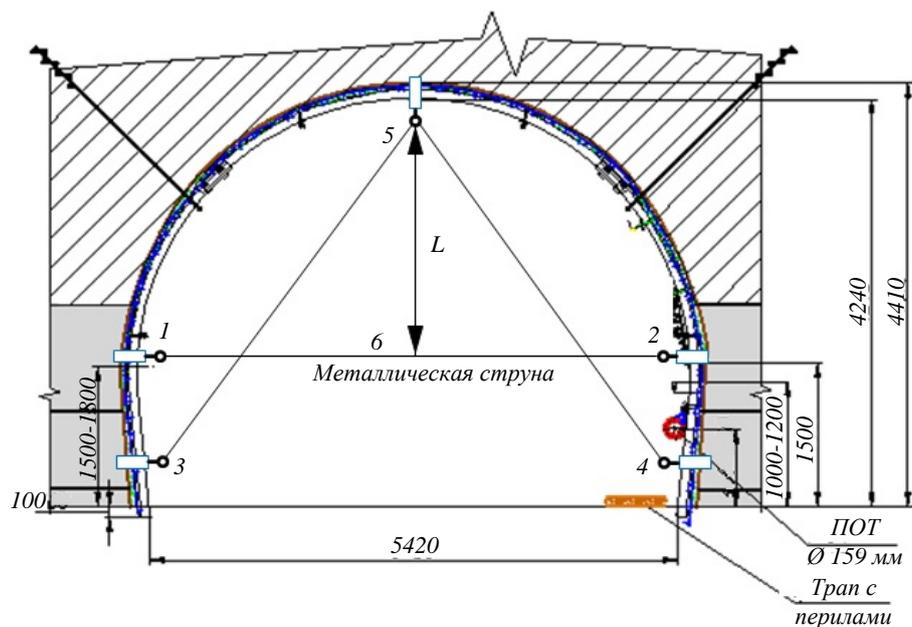


Рис. 6. Схема оборудования наблюдательной станции с контурными реперами: направления измерений: 1-2, 3-4 – конвергенция боков выработки; 3-5, 5-4 – сдвиговые деформации стоек; 5-6 – смещения кровли

рулеткой с натяжным устройством измеряют по вертикали расстояние L .

Для измерения смещений пород кровли применяют *глубинные реперные станции* типа РГ (РГ-2; РГ-3) с цветовой индикацией, которые устанавливают в шпурах диам. 43 мм. Три цветовых деления (зеленое, желтое и красное)

имеют одинаковые (25 мм) размеры и позволяют визуально определить смещения пород кровли выработки. В комплект реперной станции РГ-3 (рис. 7) входит устьевая трубка. Глубинные реперы (базовый, промежуточный и контрольный) соединены тросовыми гибкими поводками с цветовыми индикаторами.

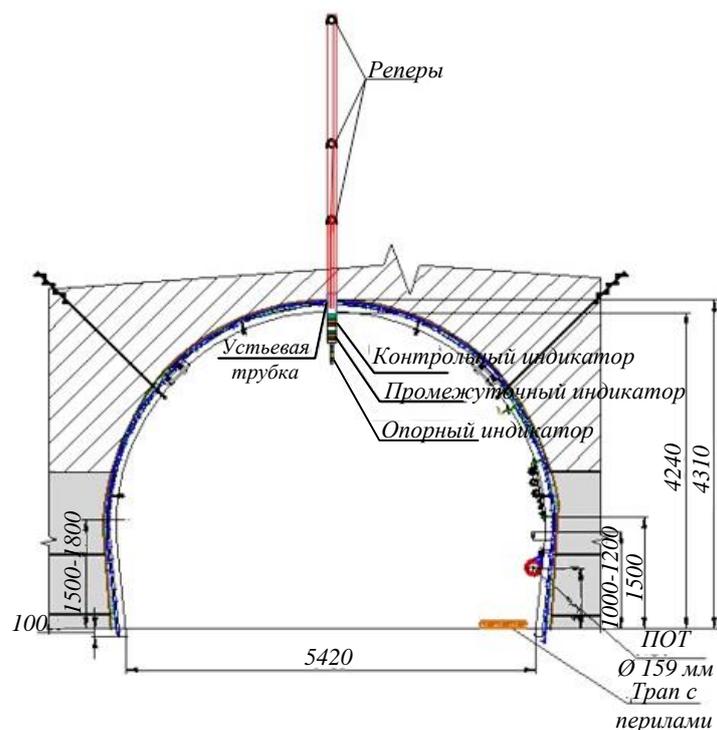


Рис. 7. Схема установки глубинной реперной станции РГ-3

На цветные индикаторы нанесена светоотражающая пленка с миллиметровой разметкой, что позволяет оценить состояние приконтурного массива. После установки реперной станции к кровле выработки рядом прикрепляется бирка с номером станции, дата и место установки заносятся в журнал. На плане горных выработок указывают место установки реперной станции. При помощи индикаторов смещения кровли отслеживают формирование расслоений толщи пород на ранней стадии.

Инструментальные наблюдения за *сдвижением земной поверхности* и горных пород под влиянием горных разработок проводятся для определения или уточнения параметров процесса сдвижения при освоении новых участков месторождений.

Инструментальные наблюдения проводят на наблюдательных станциях, состоящих из системы реперов, закладываемых по профильным линиям [3].

Наблюдательная станция – совокупность реперов, заложенных по определенной схеме на земной поверхности, в сооружениях или подземных выработках с целью проведения наблюдений за сдвижением земной поверхности, сооружений или горных пород в толще. При выборе места закладки станции предусматривается возможность ее реконструкции посредством продления профильных линий по мере развития горных работ.

На план наблюдательной станции наносят рельеф земной поверхности; пройденные и проектируемые горные выработки; выходы под наносы пластов угля, тектонических нарушений и осевых поверхностей складок; наличие пльвунов; карстов, естественных полостей; сооружения и объекты, расположенные на земной поверхности; подземные коммуникации; границы предохранительных целиков; профильные линии; все реперы (опорные и рабочие).

После разбивки наблюдательной станции закладывают реперы. В качестве рабочих реперов допускается использовать забивные металлические стержни длиной не менее 1500 мм (рис. 8).

Грунтовые реперы могут быть изготовлены из металлических стержней диаметром не менее 20 мм, металлических трубок диаметром не менее 30 мм или из обрезков рельсов.

Наблюдения за сдвижением земной поверхности, а также за деформациями толщи пород, вызванными подработкой, заключаются в инструментальном определении положения реперов наблюдательных станций с одновре-

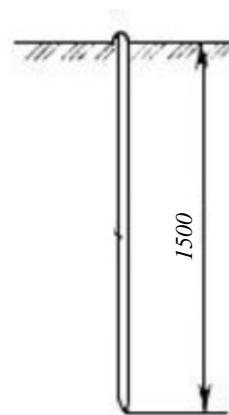


Рис. 8. Забивной репер

менным фиксированием видимых нарушений, а также всех факторов, влияющих на величину и характер сдвижений и деформаций в разные моменты времени (на разные даты). Сдвижения реперов в вертикальной плоскости (оседания) определяют из периодически проводимых нивелировок, а в горизонтальной – измерением расстояний между реперами.

Численное моделирование (МКЭ) [4] предназначено для оперативного решения двумерных задач при сложной горно-геологической ситуации с учетом формы и размеров горных выработок, влияния типов и конструкций крепи, геологических нарушений. Производят компьютерные вычисления параметров напряженно-деформированного состояния массива горных пород при проектировании и во время ведения проходческих работ с визуализацией полученных результатов. Для этого используют комплексы программ, разработанные на кафедре геотехнологии СибГИУ. Результаты численного моделирования, полученные с помощью данного программного обеспечения, представлены в работах [5 – 7]. Предлагаемые программные комплексы имеют ряд преимуществ в сравнении с продуктами известных фирм, описанных в работе [8]:

- доступность освоения и понятный интерфейс;
- тестирование модели численного моделирования по результатам шахтных измерений;
- широкий круг задач горного производства;
- возможность вносить изменения в компьютерный код, тем самым модифицировать программу и расширять ее возможности;
- развитие направления исследований вопросов горного производства с использованием собственных программных комплексов в рамках научной школы.

Численное моделирование позволяет рассмотреть большое количество вариантов параметров прогнозных моделей, в том числе с учетом нештатных ситуаций.

Для исследования процессов в сложных горно-геологических условиях используют методы *физического моделирования*, а именно, методы моделирования на эквивалентных материалах, которые соответствуют в масштабе моделирования реальным материалам, для имитации массивов горных пород [9]. На физической модели с соблюдением равенства чисел подобия (геометрического, динамического и др.) проводят эксперименты для выявления качественных и определения количественных характеристик массива. В рамках методики исследования в настоящей работе предлагается два вида синтеза численного и физического моделирования:

– результаты проведения численного моделирования учитывают в качестве граничных условий для физической модели в виде нагрузок; далее исследуют физическую модель с целью выявления изменений параметров массива и горной крепи;

– тестирование математической модели по физической для получения адекватных результатов [10].

На основе анализа полученных результатов в ходе проведения обследования горных выработок и наблюдений за сдвижением земной поверхности устанавливают:

– соответствие паспортных данных горных выработок (формы сечения, геометрических размеров выработок, типа и плотности крепи) их фактическому состоянию;

– фактическое состояние крепи, наличие деформаций или разрушений элементов крепи и т.д.;

– смещения пород кровли на глубинных и контурных реперных станциях;

– сдвижение земной поверхности.

По результатам измерений геомеханических и технологических параметров, а также компьютерного моделирования с учетом физического моделирования разрабатывают рекомендации, направленные на реализацию комплекса мер по созданию условий безопасного выполнения технологических процессов и по профилактике аварий в соответствии с требованиями действующих нормативных документов.

Результаты исследований позволят скорректировать паспорта крепления горной выработки, своевременно выявить признаки опасных ситуаций, рационально выбрать мероприятия по

усилению крепи, что обеспечит безопасность ведения горных работ.

Выводы. Обозначена проблема строительства наклонных стволов в условиях угольных шахт Ерунаковского геолого-экономического района Кузбасса. Показана схема проведения наклонного ствола. Разработана комплексная методика исследований состояния массива горных пород и элементов крепи для обеспечения безопасности и эффективности горных работ, а также снижения опасности вывалов и обрушений при проведении наклонных стволов. Представлена структурная схема методики, описаны ее основные положения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Строительство наклонных горных выработок / Н.Ф. Косарев, А.И. Копытов, В.В. Першин, М.Д. Войтов. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2004. – 347 с.
2. Першин В.В., Верхотуров О.В. Строительство наклонного конвейерного ствола ш. «Костромовская» в сложных горно-геологических условиях по наносам // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2004. № 4. С. 24 – 26.
3. Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород, земной поверхности и подрабатываемыми сооружениями на угольных и сланцевых месторождениях. – М.: Недра, 1989. – 97 с.
4. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. – М.: Недра, 1987. – 221 с.
5. Риб С.В., Волошин В.А., Фрянов В.Н., Черепов А.А. Закономерности формирования зон повышенного горного давления под влиянием угольного целикаштампа при отработке свиты пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 7. С. 23 – 29.
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 углепородного массива при переходе очистным забоем передовой выработки // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 3. С. 414 – 422.
7. Никитина А.М., Риб С.В., Борзых Д.М. К вопросу определения закономерностей распределения напряжений в породах кровли горной выработки, за-

- крепленной по различным схемам анкерования. – В кн.: Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. Труды Международной научно-практ. конф. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2012. С. 80 – 84.
- 8.** К о р н е в Е.С., П а в л о в а Л.Д., Ф р я н о в В.Н. Разработка комплекса проблемно-ориентированных программ для моделирования геомеханических процессов методом конечных элементов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2013. № 2. С. 65 – 69.
- 9.** Моделирование в геомеханике / Ф.П. Глушихин, Г.Н. Кузнецов, М.Ф. Шклярский и др. – М.: Недра, 1991. – 240 с.
- 10.** З у е в Б.Ю., К о р ш у н о в Г.И., П а л ь ц е в А.И. Физическое моделирование как составная часть геомеханического мониторинга в сложных горно-геологических условиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2010. № 5. С. 29 – 36.

© 2016 г. С.В. Риб, В.А. Волошин,
А.В. Зелинский, В.Н. Фрянов
Поступила 09 марта 2016 г.