

8. Инструкция по выбору рамных податливых крепей горных выработок / – СПб.: изд. ВНИМИ, 1991. – 125 с.
9. Широков А.П., Лидер В.А., Писляков Б.Г. Расчет анкерной крепи для различных условий применения. – М.: Недра, 1976. – 208 с.
10. Майоров А.Е., Хмяляйнен В.А. Консолидирующее крепление горных выработок. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. – 258 с.
11. Механизация проведения подготовительных выработок / А.И. Петров, Г.Г. Штумпф, П.В. Егоров, Г.Н. Архипов. – М.: Недра, 1988. – 249 с.
12. Першин В.В. Организация строительства горных выработок. Справочное пособие. – М.: Недра, 1992. – 224 с.
13. Каретников В.Н., Клейменов В.Б., Нудихин А.Г. Крепление ка-
питальных и подготовительных горных выработок. Справочник. – М.: Недра, 1989. – 571 с.
14. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений. – М.: Недра, 1994. – 382 с.
15. Фармер Я. Выработки угольных шахт / Пер. с англ. Е.А. Мельникова. – М.: Недра, 1990. – 269 с.
16. Фисенко Г.Л. Предельное состояние горных пород вокруг выработок. – М.: Недра, 1976. – 272 с.
17. Рац М.В., Чернышев С.Н. Трещиноватость и свойства трещиноватых горных пород. – М.: Недра, 1970. – 160 с.

© 2015 г. Е.М. Жуков, И.А. Лугинин,
Ю.И. Кропотов, К.А. Зырянов, В.В. Басов
Поступила 2 декабря 2015 г.

УДК 622.281.74:519.876.5

С.В. Риб, А.Н. Домрачев, В.А. Волошин

Сибирский государственный индустриальный университет

ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ ПАРАМЕТРОВ АНКЕРНОЙ КРЕПИ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ, ПРИНЯТЫХ ПО НОРМАТИВНЫМ ДОКУМЕНТАМ И ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Сложная экономическая ситуация, сложившаяся в экономике нашей страны, предъявляет повышенные требования к эффективности и безопасности работы угольных шахт. Одним из условий эффективной и безопасной работы шахты является применение оптимальных технологических решений по проведению и поддержанию горных выработок. За последние годы широкое распространение в угольной промышленности разных стран, в том числе и России, получила сталеполимерная анкерная крепь: в России – от 60 % (в Печорском бассейне) до 95 % (в Кузбассе); в Германии – до 60 % (в составе комбинированной крепи) [1]; в США — до 100 %. Этот вид крепи по сравнению с другими имеет ряд явных преимуществ:

– увеличение скорости проведения горных выработок;

– связывание и упрочнение массива пород в кровле и боках выработки сразу после установки крепи;

– противодействие развитию смещений и деформаций пород;

– возможность полной механизации процесса крепления;

– низкая трудоемкость проходческих работ;

– сравнительно невысокая стоимость;

– высокая надежность крепи;

– снижение расхода материалов и объема работ по поддержанию горных выработок.

В течение последних 10 лет успешно решаются задачи поддержания подземных горных выработок в различных горно-геологических и горнотехнических условиях с помощью анкеров второго уровня (канатные анкеры).

Действующая в настоящее время «Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах Российской Федерации» регламентирует определение параметров сталеполимерной анкерной крепи, а также конструкции анкерной крепи в кровле и боках горизонтальных и наклонных капитальных и подготовительных выработок. За пределами действия этой Инструкции использование анкерной крепи производится с учетом специфики и сложности условий по рекомендациям ВНИМИ с применением дополнительных мер безопасности и постоянных наблюдений за проявлениями горного давления и состоянием крепи [2].

При проектировании анкерной крепи для конкретных горно-геологических условий определяются следующие параметры: сопротивление крепи, длина анкеров, несущая способность анкера, шаг установки, диаметр анкера и др. Неточные геологические данные, полученные на стадии геологоразведки, и недостаточная изученность возникающих опасных зон в окрестности горной выработки влекут за собой ошибочные проектные решения, что часто приводит к низким показателям эффективности работы шахты. С другой стороны, сложившаяся практика свидетельствует о том, что обоснование оптимальных проектных решений требует многовариантного проектирования [3].

Для исследования напряженно-деформированного состояния пород в окрестности горной выработки, закрепленной анкерной крепью, применяются различные геомеханические модели. Перспективным в настоящее время является численное моделирование, в основе которого лежит метод конечных элементов [4, 5].

В этой связи назрела задача оценки соответствия параметров анкерной крепи горной выработки, принятых по нормативным документам и по результатам численного моделирования, для выявления опасных зон в приконтурном массиве горной выработки.

Предлагаемый подход предусматривает два уровня решения поставленной задачи. Первый – на стадии проектирования параметров анкерной крепи горной выработки выполняется математическое моделирование методом конечных элементов (МКЭ). Моделируются несколько вариантов крепления горной выработки, после чего по результатам численного моделирования производится оценка принятых проектных параметров анкерной крепи на предмет выявления опасных зон в окрестности горной выработки. При необходимости осу-

ществляется корректировка инженерных решений. Второй – на стадии проведения горной выработки и ее эксплуатации производится детальное обследование структуры и состава пород кровли, боков и почвы для корректирующего расчета параметров анкерной крепи [6]. На этом уровне предполагается использовать, в том числе, и численное моделирование.

В настоящей работе рассматривается первый уровень – на стадии проектирования.

Использование МКЭ может обеспечить следующие преимущества: учет структуры кровли пласта, в том числе при наличии мелкоамплитудных разрывных нарушений и структурных несоответствий; моделирование различных вариантов заделки анкеров – на полную длину, на частичную длину и т.д.; оценка роли дополнительных элементов крепи – подхватов (штрипсов), опорных шайб, перетяжки и др.; учет влияния формы и размеров поперечного сечения выработки, в том числе при оценке деформаций в боках и потенциальной опасности пучения почвы выработки; задание практически произвольной эпюры распределения горного давления над участком массива (в том числе включающего горную выработку).

Численное моделирование методом конечных элементов выполнено для условий подготовительной выработки шахты «Северная» Ургальского каменноугольного месторождения Хабаровского края.

Подготовительная выработка (штрек) проводится по пласту В.12 при угле падения 3 градуса. Мощность угольного пласта составляет 3,5 м, коэффициент крепости по шкале профессора М.М. Протодяконова – 1,2. Основная кровля пласта представлена чередованием прослоев средне-, мелко- и тонкозернистого песчаника и алевролита. Суммарная мощность этих отложений около 25 м. Коэффициент крепости пород основной кровли по шкале М.М. Протодяконова равен 8. В непосредственной кровле, сразу над пластом, расположены прослои углистых пород и аргиллита общей мощностью 0,5 – 2,0 м с коэффициентом крепости 2 по шкале М.М. Протодяконова. Выше по разрезу расположен прослой алевролита, склонный к отслаиванию и расланцеванию, его мощность составляет 3,0 м, коэффициент крепости по шкале М.М. Протодяконова равен 5. Еще выше по разрезу расположено чередование прослоев песчаника и алевролита общей мощностью 14 м с коэффициентом крепости по шкале М.М. Протодяконова 8. Непосредственная почва пласта представлена прослоем аргиллита или угли-

стого аргиллита мощностью 0,3 м с коэффици-

ентом крепости 3.

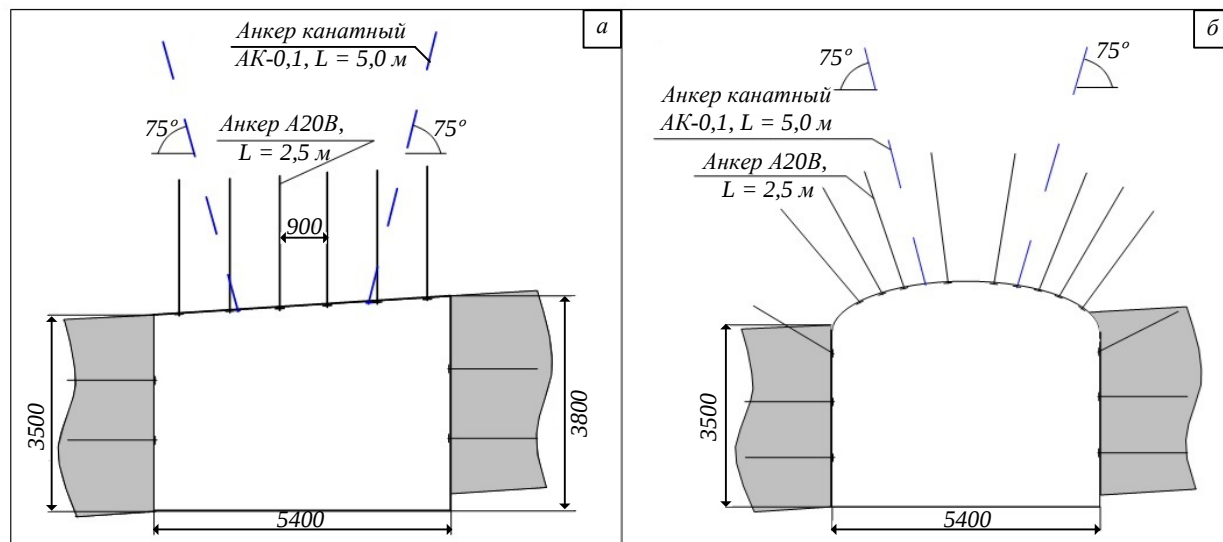


Рис. 1. Проектные параметры крепления штрека анкерной крепью по первому (а) и второму (б) вариантам

Основная почва представлена междупластьем пластов В.12 и В.11, сложена толщами песчаника тонко- и мелкозернистого. Мощность междупластья 3 м с коэффициентом крепости по шкале М.М. Протодяконова 6. Ниже залегают пласт В.11 мощностью 2,4 м и коэффициентом крепости 1.

Проектные параметры анкерной крепи штрека (два варианта) представлены на рис. 1. Моделируется напряженно-деформированное состояние геомассива в окрестности штрека. Решение осуществляется в упругопластической постановке. Применяется комплекс программ CoalPillar, в основе которого реализован МКЭ [7 – 10]. С помощью этого комплекса были построены четыре модели (две для первого и две для второго вариантов крепления штрека). Исследуется влияние проектных параметров анкерного крепления и формы сечения горной выработки на поведение пород.

На рис. 2 представлены распределение изолиний полных вертикальных напряжений (результаты по первым двум моделям).

По результатам моделирования определяются форма и размеры опасной зоны в своде выработки (рис. 2, а), а анкерная крепь изменяет состояние пород в своде, тем самым повышает устойчивость горной выработки (рис. 2, б). Изолинии распределения полных вертикальных напряжений в окрестности сводчатой горной выработки, закрепленной анкерной крепью, представлены на рис. 2, в, из которого следует, что даже при установке анкеров в кровле штрека сводчатой формы могут возникнуть опасные зоны (вывалы пород), что с большой вероятностью приведет к аварийной ситуации. Предлагается в этих условиях для

повышения устойчивости горной выработки установить еще один сталеполимерный анкер в кровле, что и было реализовано (рис. 3, б).

В результате численного моделирования скорректированные параметры анкерной крепи уменьшат размеры опасной зоны в окрестности подготовительной горной выработки с 1,2 м (рис. 3, а) до 0,8 м (рис. 3, б).

Результаты, полученные с помощью численного моделирования, в проведенных исследованиях показали удовлетворительную сходимость показателей напряженно-деформированного состояния пород в окрестности горной выработки, закрепленной анкерной крепью, с материалами работы [11].

Выводы. В результате оценки соответствия параметров анкерной крепи горной выработки, принятых по нормативным документам и по результатам численного моделирования при разной форме поперечного сечения выработки, установлено, что принятые по нормативным документам параметры анкерной крепи не всегда обеспечивают устойчивость горных выработок; численное моделирование позволяет определить опасные зоны в окрестности горной выработки и скорректировать паспорт крепления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А й к х о ф ф Ю. Техника и технология анкерного крепления в системе штрековой крепи // Глюкауф. 2008. № 2 (3). С. 28 – 35.
2. Я к о в л е в Д. В. Нормативно-методические основы крепления горных выработок анкерной крепью на угольных

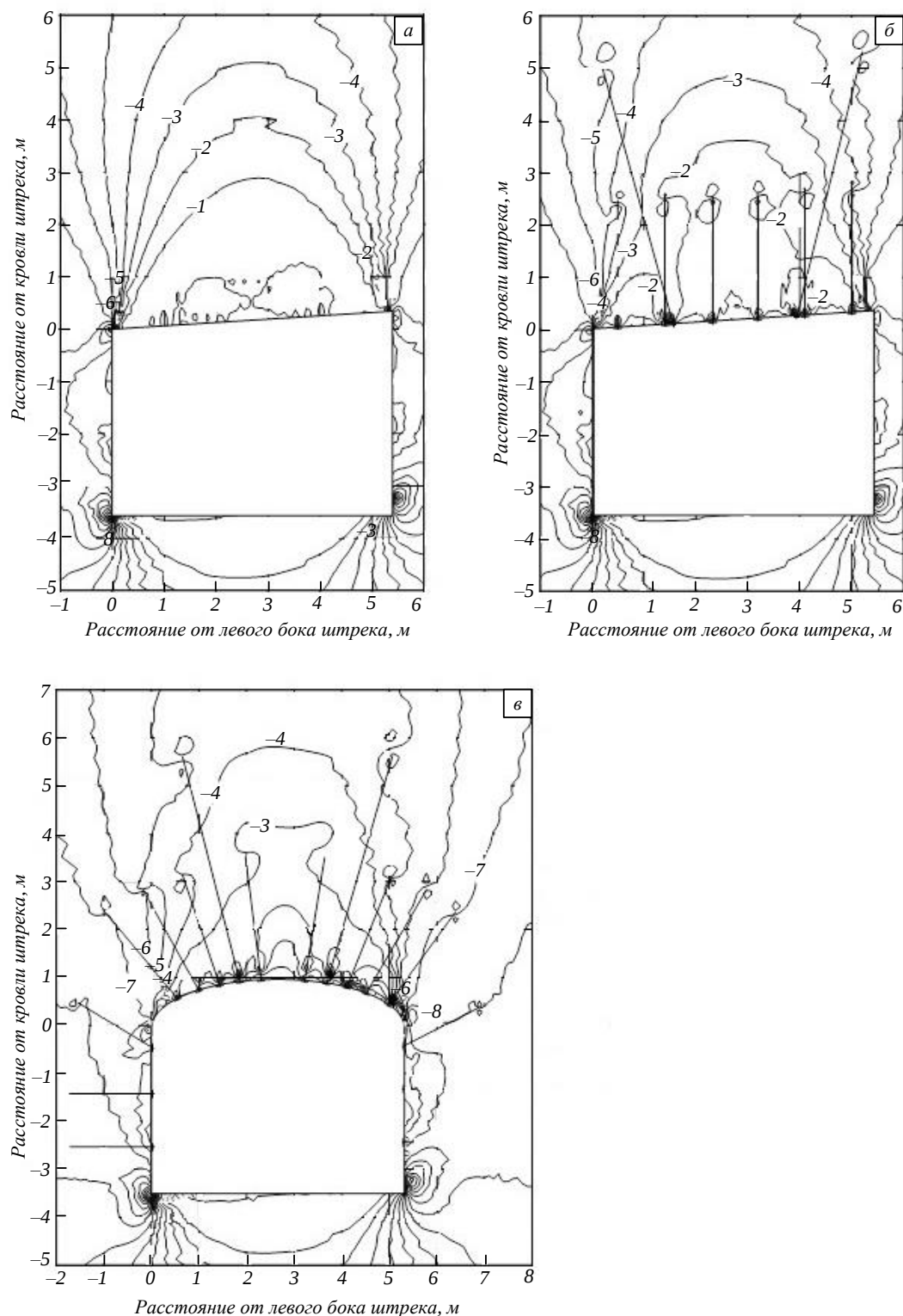


Рис. 2. Распределение изолиний полных вертикальных напряжений в окрестности горной выработки:
 а – без крепи (полигональная форма); б – с анкерной крепью (полигональная форма); в – с анкерной крепью (сводчатая форма)

3. Кузнецов Ю.Н., Петров А.Е., Стадник Д.А., Стадник Н.М. Основные этапы и направления развития информационного обеспечения САПР отработки запасов угольных месторождений // Уголь. 2014. № 12. С. 82 – 85.

4. Черданцев Н.В., Преслер В.Т. Обоснование выбора параметров анкерной крепи для выработки, пройденной в анизотропном по прочности массиве горных пород // Вестник научного центра

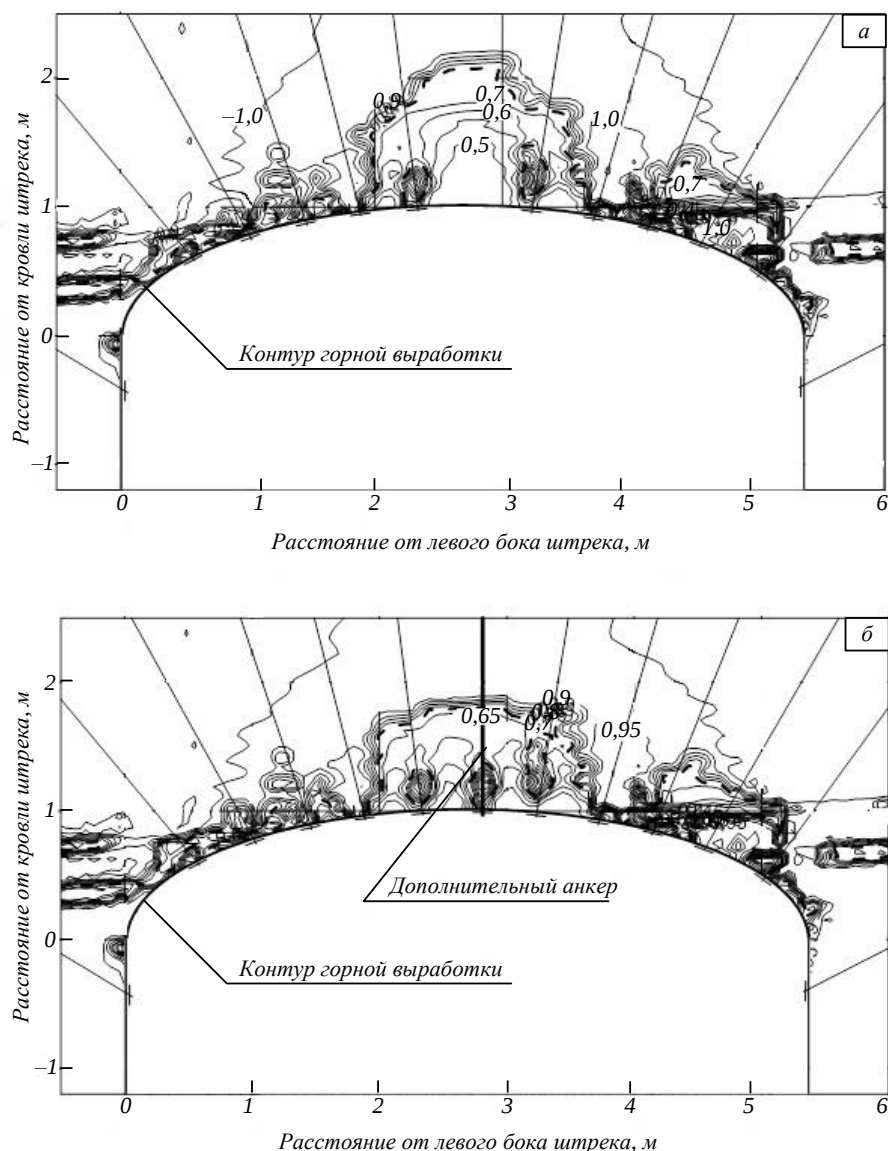


Рис. 3. Распределение изолиний отношения остаточной прочности пород к исходной в окрестности штрека, закрепленного анкерной крепью:

а – по нормативным документам; б – по нормативным документам и с дополнительным анкером

5. Демин В.Ф., Портнов В.С., Мусин Р.А., Маусымбаева А.Д., Демин В.В. Анкерное крепление горных выработок для повышения устойчивости углепородного массива // Уголь. 2013. № 11. С. 70 – 73.
6. 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.
7. Риб С.В., Борзых Д.М., Никитина А.М. Исследования распределения напряжений в породах кровли горной выработки при разных схемах расположения анкеров // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов: Сб. науч. ст. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2012. С. 118 – 126.
8. Риб С.В., Борзых Д.М., Никитина А.М. Обоснование параметров анкерного крепления горных выработок, проводимых по 1-му слою пласта III в условиях дизъюнктивных и пликтивных нарушений с дробленными и обводненными породами в условиях ОАО «Шахта «Сибиргинская» // Вестник СибГИУ. 2013. № 3 (5). С. 62 – 67.
9. Риб С.В., Басов В.В. Методика подготовки исходных данных для решения

- двумерных задач численного моделирования неоднородных угольных целиков // Вестник СибГИУ. 2014. № 4. С. 11 – 13.
- 10.** 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.
- 11.** Р е м е з о в А.В., Х а р и т о н о в В.Г., М а з и к и н В.П. Анкерное крепление на шахтах Кузбасса и дальнейшее его развитие: Учебное пособие. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2005. – 471 с.

© 2015 г. С.В. Риб, А.Н. Домрачев,
В.А. Волошин
Поступила 2 декабря 2015 г.