© Д.М. Борзых, А.М. Никитина, С.В. Риб, В.Н. Фрянов, А.Г. Зиганшин, А.С. Петров, 2015

УДК 622.284.74

Д.М. Борзых, А.М. Никитина, С.В. Риб, В.Н. Фрянов, А.Г. Зиганшин, А.С. Петров

ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ КОРРЕКТИРОВКИ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ МЕТОДИКИ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ АНКЕРНОЙ КРЕПИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Рассмотрены задачи повышения скорости проведения горных выработок и безопасности работ, как при проходке выработок, так и при их эксплуатации. Решение этих задач достигается посредством совершенствования технологии проведения и крепления, а также способов и средств возведения крепи горных выработок. Одним из важнейших факторов повышения надежности прогноза параметров крепи является наличие достоверной информации по фактическому строению пород кровли. Исходя из изложенного, возникает актуальная научно-практическая задача повышения надежности прогноза прочностных, деформационных и структурных параметров пород кровли для обоснования на их основе оптимальных по экономическим показателям и фактору промышленной безопасности технологии крепления горных выработок, типов и конструкций крепи. Применение инновационных технических средств для корректировки существующей методики прогноза параметров анкерной крепи горных выработок с использованием достоверной информации, полученной при визуализации пород кровли эндоскопическим методом позволит увеличить безопасность ведения работ при сокращении времени на проведение горных выработок. Решение поставленных задачи является целью настоящей работы.

Ключевые слова: подземные выработки, анкерная крепь, шахтный эксперимент, эндоскопическая съемка, скважина, методика, расчет параметров крепи, разрушение и прочность пород, неоднородность углепородного массива.

В настоящее время на угольных шахтах одними из актуальных задач являются повышения скорости проведения горных выработок и безопасности работ, как при проходке выработок, так и при их эксплуатации. Решение этих задач достигается посредством совершенствования технологии проведения и крепления, а также способов и средств возведения крепи горных выработок.

Безопасность процессов и операций в горных выработках регламентируется требованиями действующих Правил безопасности [1], согласно которым разрабатывается и реализуется паспорт проведения и поддержания выработки. При разработке паспорта используются горно-геологические характеристики углепородного массива, полученные на стадии проведения геолого-разведочных работ. Учитывая, что на этом этапе исследования месторождения расстояние между разведочными линиями и скважинами составляет для свиты пластов пологого падения 200–300 м, достоверность горно-геологического прогноза весьма низкая [2]. Использование недостоверной информации приводит к ошибкам при разработке технологических и инвестиционных решений и повышенной опасности горных работ при реализации этих решений в виде

обрушений пород кровли, инцидентов и аварий [3].

На стадии разработки паспорта проведения выработки в качестве основного параметра, отражающего свойства пород, принимается предел прочности при сжатии ($\delta_{сж}$) и трещиноватость $n_{тр}$ [4]. Однако эти параметры между соседними разведочными скважинами и в пределах выемочного столба могут существенно изменяться, что подтверждается многочисленными лабораторными исследованиями [5, 6]. Особенно существенное влияние на устойчивость выработок оказывает структура пород кровли. Несоответствие структуры и физико-механических свойств углепородного массива реальным условиям компенсируется на стадии разработки проектной документации введением в расчеты параметров крепи минимальной прочности пород, повышенной трещиноватости и слоистости геомассива. Это приводит к снижению темпов проведения выработок и повышению материальных и трудовых затрат.

С учетом изложенного возникает актуальная научно-практическая задача повышения надежности прогноза прочностных, деформационных и структурных параметров пород кровли для обоснования на их основе оптимальных по экономическим показателям и фактору промышленной безопасности технологии крепления горных выработок, типов и конструкций крепи. Решение поставленной задачи является целью настоящей работы.

Учитывая недостаточную для практики надежность определения прочностных и деформационных характеристик пород в лабораторных условиях, предлагается в качестве основного метода исследований применить численное моделирование напряженно-деформированного состояния геомассива с настройкой входных параметров модели по результатам натурного эксперимента. Программа натурного эксперимента включает уточнение структуры пород кровли по результатам эндоскопической съемки стенок скважины и измерение смещений породного массива с помощью глубинных реперных станций. В настоящей статье приведены результаты первого этапа исследований, который включает изучение структуры пород кровли и оценку влияния структурной неоднородности посредством сравнения результатов расчета по исходным данным, предоставленных шахтой [7], и с учетом структуры пород кровли, уточненной эндоскопическим методом. Выявленные контакты между породными слоями рассматривались как «мягкие» слои согласно методике, разработанной авторами в работе [8]. В случае существенных отклонений параметров крепи, вычисленных согласно [4] по результатам горно-геологического прогноза [7] и эндоскопическим методом, проводилась в соответствии с требованиями Правил безопасности [1] корректировка паспорта проведения и крепления выработки.

Эффективность разработанной методики по сравнению с нормативной [7] оценивалась при восстановлении конвейерного штрека 5а-7-30 угольного предприятия (шахта) ОАО «Распадская», пласт 7, Кемеровская обл. г. Междуреченск. Ширина штрека 5,5 м, высота 4 м.

Кровля пласта 7 разделена на несколько основных породных слоев, ложная, непосредственная, основная кровля.

Ложная кровля представлена мелким алевролитом до крупного алевролита мощностью до 0,5 м, предел прочности при сжатии $\delta_{сж}$ = 30–40 МПа. При проведении горной выработки ложная кровля отслаивается и транспортируется вместе с отбитой горной массой на земную поверхность.

Непосредственная кровля выработки представлена мелкозернистым алевролитом, местами среднезернистым, с прослоями мелкозернистого крепкого песчаника, с косой слоистостью за счет растительного детрита и песчаного материала. Мощность непосредственной кровли от 10 м до 30 м, породы средней устойчивости с коэффициентом крепости по шкале проф. М.М. Протодьяконова f = 4–5, по обрушаемости кровля относится к I типу, а по устойчивости ко II классу по классификации ВНИМИ [9].

Основную кровлю слагают тонкозернистые серые песчаники, с косой слоистостью за счет растительного остатка. Породы основной кровли средней крепости и устойчивости с коэффициентом крепости f = 5–6.

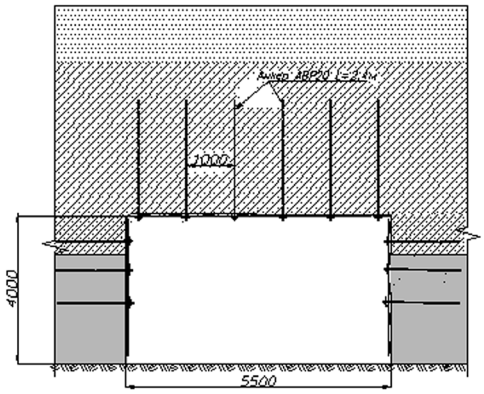

Рис. 1. Паспорт крепления конвейерного штрека 5а-7–30

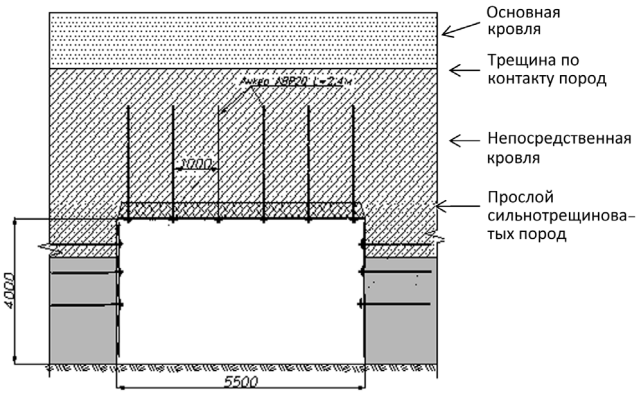

Рис. 2. Паспорт крепления конвейерного штрека 5а-7-30

Расчет параметров анкерной крепи кровли конвейерного штрека 5а-7–30, выполнен в соответствии с действующей «Инструкцией…» [4].

Вариант 1: расчет параметров анкерной крепи в паспорте крепления конвейерного штрека 5а-7-30 на основании представленных геологической службой шахты горно-геологических параметров [7] (базовый вариант, рис. 1).

Вариант 2: После произведенного детального эндоскопического исследования пород кровли, на стадии проведения мониторинга горной выработки, было выявлено, что фактическое строение пород кровли не соответствует представленным параметрам геологической службой шахты.

В породах кровли выявлено наличие прослоя трещиноватых пород в интервале от 0 до 0,5 в кровле выработки, а так же расслоение пород в интервале 2,6 м (рис. 2).

На основании детального исследования строения пород кровли проведен корректировочный расчет параметров анкерной крепи конвейерного штрека 5а-7-30.

Результаты расчетов по алгоритмам, приведенным в [4, 7, 10], представлены в таблице.

В таблице приняты следующие обозначения [4]: m – мощности породных слоев в кровле, м; $K_с$ – коэффициент, структурного ослабления пород кровли; $K_{вл}$ – коэффициент влияния влаги; $U_м$ – расчетные смещения пород кровли; $U_т$ – типовое смещение

Сравнение результатов расчетов по вариантам

Наименование расчетного параметра	Варианты расчета		Формулы [4, 7]
	базовый	с учетом прослоев	
Сопротивление пород кровли при сжатии $R_{с.к}$, МПа	50	40	$R_{вл} = \frac{(R_{c1} \cdot m_1) + (R_{c2} \cdot m_2)}{B} \cdot K_c \cdot K$
Смещения кровли $U_м$, мм	31	54	$U_м = U_т \cdot K_\alpha \cdot K_ш \cdot K_в \cdot K_а$
Смещения кровли $U_п$, мм	85	115	$U_п = U_м + U_л \cdot K_ш \cdot K_в \cdot K_к \cdot K_а \cdot$
Сопротивление крепи $P_{а.к.}$, кН/м^2	75	85	По типовым номограммам
Длина стержней $L_а$, м	2,4	2,8	По типовым номограммам
Расстояние между анкерами, м	1,2	1,0	$C_k = \frac{n_k \cdot N_{ak}}{P_{ak} \cdot B}$

пород кровли; K_α – коэффициент, учитывающий расположение выработок; $K_ш$ – коэффициент, учитывающий отличие расчетной ширины выработок и сопряжений от B = 5,5 м; $K_в$ – коэффициент, учитывающий влияние других смежных выработок; $K_а$ – коэффициент, учитывающий степень связывания и упрочнения пород различными конструкциями анкеров; $U_л$ – расчетные смещения кровли в период влияния опорного давления; $K_к$ – коэффициент, учитывающий обрушаемость основной кровли; $n_к$ – количество анкеров в кровле.

Из таблицы следует, что после уточнения структуры пород с помощью эндоскопа необходимо использовать при расчете параметров паспорта крепления следующие исходные данные и результаты прогноза: сопротивление пород кровли при сжатии уменьшить на 10 МПа; величину расчетных смещений пород кровли вне влияния очистных работ $U_м$ увеличить на 23 мм; величину расчетных смещений кровли $U_п$ увеличить на 30 мм; сопротивление крепи $P_{а.к.}$ увеличить на 10 кН/м^2; длину анкерных стержней $L_а$ увеличить на 0,4 м; расстояние между анкерами уменьшить на 0,2 м.

Сравнение принятых прогноза шахтой [7] параметров паспорта крепления выработки и рекомендуемых по результатам прогноза с использованием структуры пород, установленной после эндоскопической съемки, приведено на рис. 3.

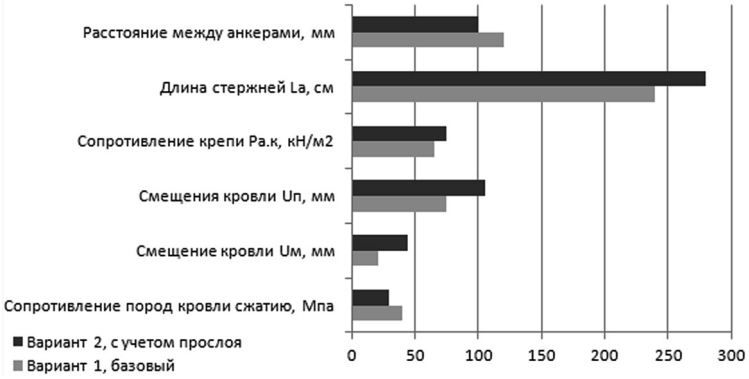

Рис. 3. Сравнение параметров паспорта крепления по вариантам

В настоящее время осуществляется восстановление конвейерного штрека 5а-7-30, а по результатам расчета и разработанным рекомендациям скорректирован паспорт крепления горной выработки с целью повышения безопасности в процессе эксплуатации.

Следует отметить, что в отдельных случаях наличие ослабленных контактов в породах кровли, принятых по горно-геологическому прогнозу, не подтверждается результатами эндоскопической съемки. В этом случае после корректировки паспорта крепления материальные и трудовые затраты при проходке и эксплуатации выработки снижаются по сравнению с базовым вариантом.

На основе применения разработанной методики с использованием эндоскопического метода, последующей корректировки паспортов крепления в 12 выработках шахт Кузбасса и проведенного мониторинга в широком диапазоне горно-геологических и горнотехнических условий состояния пород кровли установлено, что методика обеспечивает устойчивость выработок как при проходке, так и их эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Правила* безопасности в угольных шахтах. – М.: ФГУП «Научно-технический центр по безопасности Госгортехнадзора России», 2013. – 296 с.

2. *Шаклеин С.В., Писаренко М.В.* Развитие подходов к оценке неоднозначности горно-геометрических моделей угольных месторождений / Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сборник научных статей. – Новокузнецк, 2011. – С. 148–152.

3. *Фрянов В.Н., Павлова Л.Д.* Состояние и направления развития безопасной технологии угледобычи. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. – 238 с.

4. *Инструкция* по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах Российской Федерации. – СПб.: ВНИМИ, 2014. – 203 с.

5. *Штумпф Г.Г., Рыжков Ю.А., Шаламанов В.А., Петров А.И.* Физико-технические свойства горных пород и углей Кузнецкого бассейна: Справочник. – М.: Недра, 1994. – 447 с.

6. *Берон А.И., Ватолин Е.С., Койфман М.И., Чирков С.Е., Кунтыш М.Ф., Мохначев М.П., Чирков С.Е.* Исследование прочности и деформируемости горных пород. – М.: Наука, 1973. – 207 с.

7. *Геологический* прогноз пласта 7 ОАО «Распадская». – Междуреченск: геологический отдел шахты «Распадская», 2010. – 70 с.

8. *Никитина А.М., Фрянов В.Н.* Геомеханическое обеспечение устойчивости подземных горных выработок в неоднородном углепородном массиве. – Новокузнецк: СибГИУ, 2009. – 199 с.

9. *Классификация* пород кровли по ВНИМИ из Инструкции по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах Российской Федерации. – СПб.: ВНИМИ, 2014. – 203 с

10. *Риб С.В., Никитина А.М., Борзых Д.М.* Обоснование параметров анкерного крепления горных выработок, проводимых по первому слою пласта III в условиях дизъюнктивных и пликативных нарушений с дробленными и обводненными породами в условиях ОАО «Шахта «Сибиргинская» // Вестник СибГИУ. – 2013. – № 3(5). – С. 24–27. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Борзых Дмитрий Михайлович – старший преподаватель, e-mail: 25borz@rambler.ru,
Никитина Анастасия Михайловна – кандидат технических наук, доцент,
e-mail: nik.am_78@mail.ru,
Риб Сергей Валерьевич – старший преподаватель, e-mail: seregarib@yandex.ru,
Фрянов Виктор Николаевич – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой,
e-mail: fryanov@sibsiu.ru,
Сибирский государственный индустриальный университет;
Зиганшин Антон Геннадьевич – генеральный директор,
Инженерно-изыскательская организация ООО «Прокопуголь», e-mail: prokopugol@yandex.ru;
Петров Александр Сергеевич – главный инженер, ОАО «Распадская».

UDC 622.284.74

THE USE OF INNOVATIVE TECHNICAL MEANS TO ADJUST THE EXISTING METHODS OF SELECTION PARAMETERS ANCHOR MINE TIMBERING

Borzyh D.M.[1], Senior Lecturer, e-mail: 25borz@rambler.ru,
Nikitina A.M.[1], Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: nik.am_78@mail.ru,
Rib S.V.[1], Senior Lecturer, e-mail: seregarib@yandex.ru,
Frianov V.N.[1], Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Chair, e-mail: fryanov@sibsiu.ru,
Ziganshin A.G.[2], General Director, e-mail: prokopugol@yandex.ru;
Petrov A.S.[3], Chief engineer,
[1] Siberian State Industrial University, 654007, Novokuznetsk, Russia,
[2] Engineering and survey company LLC «Prokopugol», Prokopyevsk, Rissia,
[3] OAO «Raspadskaya», Mezhdurechensk, Russia.

In the present article deals with the actual problem of increasing the speed for mining and safety, as the excavation of tunnels and during their operation. The solution to these problems is achieved through improving the technology and mounting, as well as ways and means of construction of the mine timbering.

One of the most important factors increasing the reliability of the forecast parameters of the lining is the availability of reliable information on the actual structure of the roof rocks. Proceeding from the above, there is actual scientific and practical task of improving the reliability of the forecast of strength, deformation and structural parameters of the roof rocks to justify on the basis of optimal economic indicators and the factor of industrial safety technology securing mining, types and structures lining.

The use of innovative technical means to adjust the existing methods of prediction parameters anchor mine timbering using reliable information, obtained by visualization of the roof rocks endoscopic method will increase the safety of operations while reducing the time to conduct mining. The solution of this problem is the aim of the present work

Key words: underground mine, bolting, mine experiment, endoscopic imaging, borehole, the method, the calculation of the parameters of the support, the destruction and the strength of the rocks, the heterogeneity of the surrounding coal-array.

REFERENCES

1. *Pravila bezopasnosti v ugol'nykh shakhtakh* (Your safety in coal mines), Moscow, FGUP «Nauchno-tekhnicheskii tsentr po bezopasnosti Gosgortekhnadzora Rossii», 2013, 296 p.

2.Shaklein S.V., Pisarenko M.V. *Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispol'zovaniya mineral'nykh resursov: sbornik nauchnykh statei. Novokuznetsk* (High technology development and utilization of mineral resources: collection of scientific articles), Novokuznetsk, 2011, pp. 148–152.

3. Fryanov V.N., Pavlova L.D. *Sostoyanie i napravleniya razvitiya bezopasnoi tekhnologii ugledobychi* (Status and trends of development of safe technology of coal mining), Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2009, 238 p.

4. *Instruktsiya po raschetu i primeneniyu ankernoi krepi na ugol'nykh shakhtakh Rossiiskoi Federatsii* (Instructions for the calculation and use of roof bolting in the coal mines of the Russian Federation), Saint-Petersburg, VNIMI, 2014, 203 p.

5. Shtumpf G.G., Ryzhkov Yu.A., Shalamanov V.A., Petrov A.I. *Fiziko-tekhnicheskie svoistva gornykh porod i uglei Kuznetskogo basseina: Spravochnik* (Physical and technical properties of rocks and coals of Kuznetsk Basin: handbook), Moscow, Nedra, 1994, 447 p.

6. Beron A.I., Vatolin E.S., Koifman M.I., Chirkov S.E., Kuntysh M.F., Mokhnachev M.P. *Issledovanie prochnosti i deformiruemosti gornykh porod* (Investigation of strength and deformability of rock), Moscow, Nauka, 1973, 207 p.

7. *Geologicheskii prognoz plasta 7 OAO «Raspadskaya»* (Geologichesky forecast reservoir 7 of «Raspadskaya»), Mezhdurechensk, Geologicheskii otdel shakhty «Raspadskaya», 2010, 70 p.

8. Nikitina A.M., Fryanov V.N. *Geomekhanicheskoe obespechenie ustoichivosti podzemnykh gornykh vyrabotok v neodnorodnom ugleporodnom massive* (Geomechanical sustainability of underground mine workings in an inhomogeneous ugleporodnom array), Novokuznetsk, SibGIU, 2009, 199 p.

9. *Klassifikatsiya porod krovli po VNIMI iz Instruktsii po raschetu i primeneniyu ankernoi krepi na ugol'nykh shakhtakh Rossiiskoi Federatsii* (Classification roof rocks by VNIMI of Settlement Instructions and Application of roof bolting in the coal mines of the Russian Federation), Saint-Petersburg, VNIMI, 2014. 203 p.

10. Rib S.V., Nikitina A.M., Borzykh D.M. *Vestnik SibGIU*. 2013, no 3(5), pp. 24–27.