

DOI: 10.25558/VOSTNII.2021.90.58.002

УДК 620.1.051

© А.Е. Майоров, И.Л. Абрамов, Д.П. Кулик, 2021

А.Е. МАЙОРОВ

д-р техн. наук, проф. РАН,
заведующий лабораторией
ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово
профессор кафедры
КузГТУ, г. Кемерово



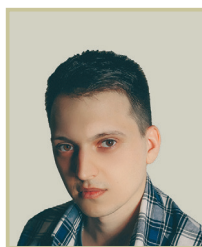
И.Л. АБРАМОВ

канд. техн. наук, доцент,
старший научный сотрудник
ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово
доцент кафедры
КузГТУ, г. Кемерово



Д.П. КУЛИК

ведущий инженер, аспирант
ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово



ОЦЕНКА ТРЕЩИНОВАТОСТИ И ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

Разработана методика оперативной диагностики и контроля трещиноватости и фильтрационных свойств массива горных пород в процессе оценки технического состояния подземных сооружений, геомеханического мониторинга угольных шахт и рудников, инженерно-геологических изысканий.

Ключевые слова: МАССИВ ГОРНЫХ ПОРОД, ТРЕЩИНОВАТОСТЬ, ПРОНИЦАЕМОСТЬ, ОПЕРАТИВНАЯ ДИАГНОСТИКА, РЕОМЕТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ, ФИЛЬТРАЦИЯ, ТАМПОНАЖ.

В Институте угля ФИЦ УУХ СО РАН активно функционирует Центр испытаний горно-шахтного оборудования и инновационных технологий, развитие которого ориентировано на разработку новых средств диагностики и методического обеспечения оценки состояния массива горных пород при реализации перспективных геотехнологий управления его физическим и физико-химическим состоянием:

- гидроразрыв угольных пластов для повышения их газоотдачи;
- направленный гидроразрыв горных пород для посадки формируемых блоков кровли в процессе работы очистного забоя;
- тампонаж приконтурной зоны горных выработок — как самостоятельный способ крепления, так и в комбинированных системах со стабилизацией смещений для сложных горно-геологических и горнотехнических условий;

- тампонаж локальных нарушений сплошности массива для последующей проходки горных выработок;

- тампонаж приконтурной зоны горных выработок с обсадными трубами системы внутривластовой дегазации;

- возведение противифльтрационных тампонажных завес в приконтурной зоне горных выработок для изоляции краевой зоны угольного пласта, снижения и локализации эндогенных процессов самонагрева;

- возведение противифльтрационных изолирующих тампонажных завес в склонных к самовозгоранию угольных пластах для локализации и дезактивации опасных участков;

- пропитка ингибиторами угля, склонного к окислению и самовозгоранию.

Обеспечение надежности и заданного времени функционирования горных выработок является важной задачей при подземной добыче полезных ископаемых. Ключевым моментом в решении вопросов безопасности ведения горных работ является своевременная организация геомеханического мониторинга, включающего:

- контроль напряженно-деформированного состояния (НДС) массива пород в процессе проходки и поддержания горных выработок, а также оценка его свойств (физико-механические, фильтрационные) и состояния (характер и степень трещиноватости, устойчивости, обводненности);

- диагностирование и контроль состояния зон нарушений, карстов и пустот;

- диагностирование и контроль состояния системы крепления горных выработок, а также зон изоляции, упрочнения, тампонажа горных пород и искусственных массивов (перемычки, бутовые полосы, закладочные зоны, основания фундаментов и т. д.) в процессе строительства и эксплуатации;

- диагностирование и контроль динамических явлений (горных ударов и т. п.) при ведении горных работ, в том числе и буровзрывных.

Одной из определяющих характеристик состояния массива горных пород является трещиноватость (нарушенность), для оценки

которой в ФИЦ УУХ СО РАН разработаны методические указания. Определение трещинной проницаемости экспериментального участка производится реометрическим методом, в котором используются закономерности изменения во времени параметров фильтрации сжатого воздуха через раскрытые трещины. Фактические размеры исследуемых объектов определяются при визуально-измерительном контроле.

Полученные критерии оценки фактического состояния нарушенного массива горных пород: величины раскрытия трещин, $K_{тр}$ — коэффициент трещиноватости, $K_{пр}$ — коэффициент проницаемости и их изменение с течением времени, позволяют:

- оценить степень и размеры нарушенной приконтурной зоны горной выработки;

- оценить рост количества трещин на 1 погонный метр (удельную трещиноватость);

- оценить устойчивость контура (категорию устойчивости) и причины ее снижения;

- осуществлять районирование горных пород по категориям нарушенности и проницаемости;

- производить более обоснованный выбор и расчет параметров крепления, контроль его технического состояния;

- оценивать качество инъекционного упрочнения и тампонажа нарушенных горных пород, изоляции и восстановления технического состояния горных выработок и других подземных сооружений, эффективность проведения дегазационных работ.

Методические указания являются неотъемлемой частью организации комплексного геомеханического мониторинга состояния массивов горных пород, в том числе и искусственных, технического состояния оснований фундаментов, заглубленных и подземных сооружений угольных шахт и рудников, а также могут быть использованы в процессе инженерно-геологических изысканий при проектировании горных выработок.

Основу методики оперативной диагностики составляют визуально-измерительный и реометрический контроль.

Визуально-измерительный контроль вы-

полняется портативным измерительным видеоэндоскопом (проталкиваемая видеокамера) с полужестким зондом длиной от 5 м (или соответствующего размера, при необходимости осмотра более глубоких диагностических скважин), встроенным источником света, цифровой записью фото и видео информации, с возможностью контроля величины и формы раскрытия трещин.

Перед проведением контроля выполняется анализ технической и проектной документации: плана горных работ, паспорта крепления горной выработки, горно-геологических, гидрогеологических и горнотехнических условий проведения горной выработки, технический паспорт обследуемого объекта (при наличии).

Заполняется схема контроля, состоящая из эскиза объекта, дополненного разверткой контура горной выработки с нанесенными на нее пронумерованными диагностическими скважинами, выходами на поверхность трещин и нарушений с относительными координатами места их расположения с указанием геометрических размеров диагностических скважин и условий бурения, в том числе модель бурового станка и буровой коронки. В схему контроля входит сводная таблица с

описанием выявленных дефектов (в порядке расположения) и их характеристик.

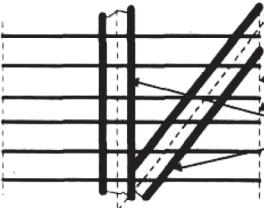
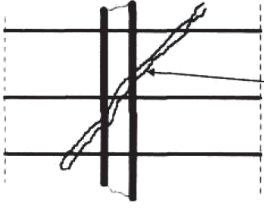
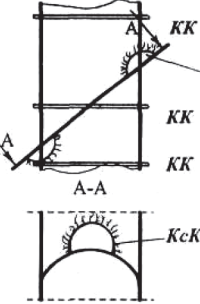
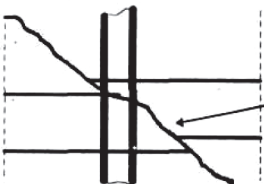
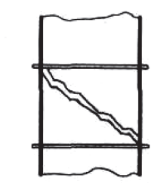
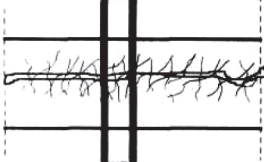
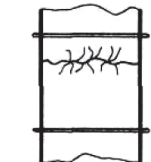
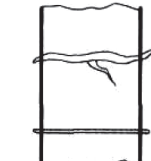
При визуально-измерительном контроле объекта определяются: наличие и характер расположения трещин и нарушений, наличие зон повышенной влажности, потеков и выделов, мест коррозионных разрушений материала, и т. д.

По каждой диагностической скважине представляется стратиграфическая колонка дефектов с соответствующими геометрическими размерами и обозначениями, пример которых представлен в таблице 1.

При визуально-измерительном контроле по каждой скважине фиксируется угол расположения ее оси относительно контура горной выработки и напластований горных пород (при наличии), наличие зон интенсивной трещиноватости (мощность, локализация, относительное расположение) и зеркал скольжения, форма и углы расположения трещин относительно оси скважины, форма и углы кольцевых сколов, образованных буровой коронкой при прохождении плоскостей переслаивания горных пород и зон нарушений, глубина расположения описываемого объекта относительно устья скважины, степень шероховатости и цвет (текстура и фактура) стенок.

Таблица 1

Пример условных обозначений дефектов в стратиграфической колонке при оформлении результатов визуально-измерительного контроля стенок скважины

ЭЛЕМЕНТЫ НАРУШЕНИЙ СПЛОШНОСТИ МАССИВА		ВИЗУАЛЬНАЯ ОЦЕНКА	
		ОТОБРАЖЕНИЕ	УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ
			КК - КОЛЬЦЕВАЯ КАВЕРНА ЭК - ЭЛЛИПТИЧЕСКАЯ КАВЕРНА
			Тр.О - ТРЕЩИНА ОТРЫВА
			ЭКВ - ЭЛЛИПС С КАВЕРНОЙ В ВЕРШИНЕ При тонкой трещине эллипс малозаметен, но заметна каверна К или КсК - КАВЕРНА ИЛИ КАВЕРНА С КАРНИЗОМ
			сдвиг К - КОСОСЕКУЩИЙ сдвиг Пр - ПРОДОЛЬНЫЙ вдоль оси скважины
			З.Др - ЗОНА ДРОБЛЕНИЯ
			Р - РАЗЛОМ

Реометрический контроль относится к числу наиболее эффективных, простых и доступных инженерных методов оперативного контроля параметров нарушенной зоны объекта исследований с оценкой его фактической

трещинной проницаемости при помощи прямых измерений.

Базовым прибором контроля является автономный портативный цифровой манометр-регистратор (далее манометр-регистра-

тор) с даталоггером, термокомпенсацией, в искробезопасном исполнении (Ех), пылевлагонепроницаемом корпусе (IP67) с точностью измерения не менее 0,01 %.

Конструктивные элементы для подключения манометра-регистратора к диагностической скважине представлены на рис. 1. В комплекте с манометром-регистратором имеется насос ручной пневматический для автономного заполнения аккумулирующей емкости (ресивера) воздухом и последующей компенсации давления при проведении контроля. В измерительный комплект входят 2 вида мно-

горазовых пакеров для диагностических скважин $\varnothing$ 28–43 мм: жесткий и гибкий. Пакеры предназначены для герметичного разобщения горизонтов скважины, с подачей рабочей среды (воздуха) в пересекаемые трещины. Закрепление пакера в скважине происходит путем подачи воздуха под оболочку давлением до 0,5 МПа. При необходимости определения трещиноватости определенной зоны, выбранной по длине диагностической скважины, используется пакер с двумя герметизирующими манжетами, между которыми располагается участок контроля.

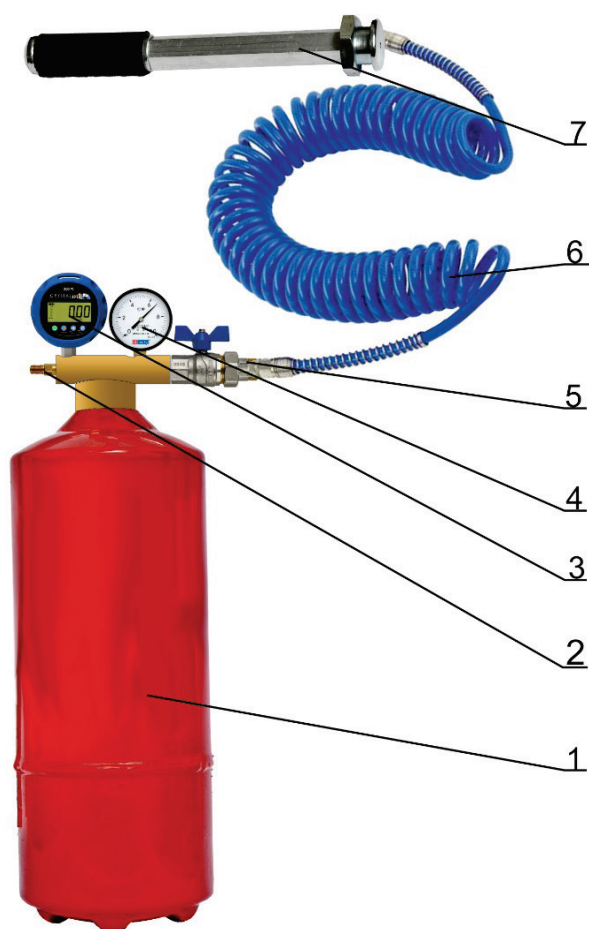


Рис. 1. Конструктивные элементы для подключения манометра-регистратора к диагностической скважине:

1 — емкость аккумулирующая (ресивер); 2 — штуцер с ниппелем; 3 — манометр-регистратор автоматический; 4 — манометр механический стрелочный контрольный; 5 — вентиль сбросной; 6 — шланг; 7 — пакер механический (пневматический) для диагностических скважин $\varnothing$ 28–43 мм

В процессе замера показаний давления в аккумулирующей емкости, подключенной к диагностической скважине через шланг с пакером, манометр-регистратор автоматически

фиксирует несколько показаний в секунду, рассчитывая среднее значение, по которому и выстраивает график изменения падающего давления.

В результате реометрического контроля по каждой диагностической скважине по данным манометра-регистратора формируется

отчет, позволяющий оценить фильтрационные свойства массива горных пород (рис. 2).

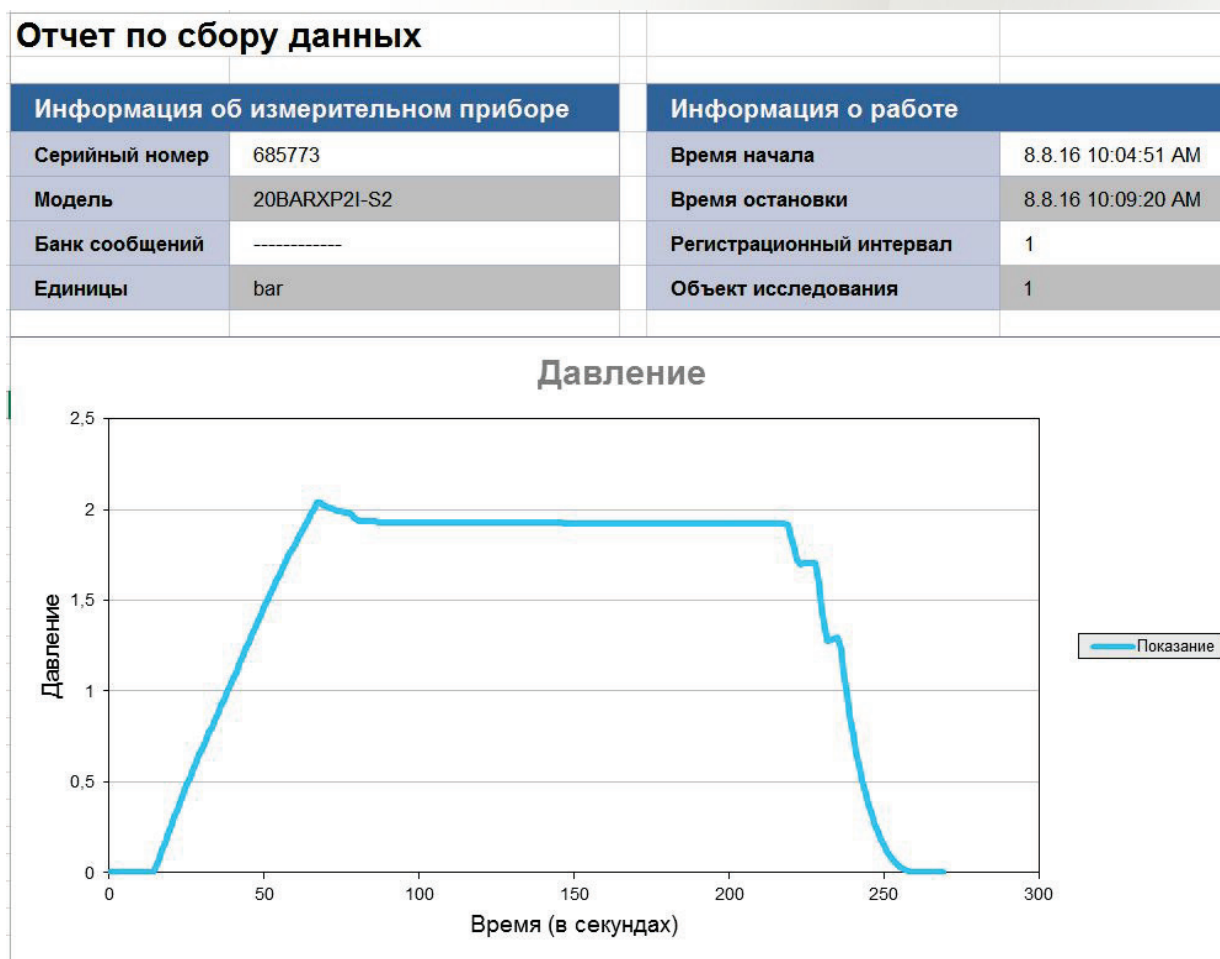
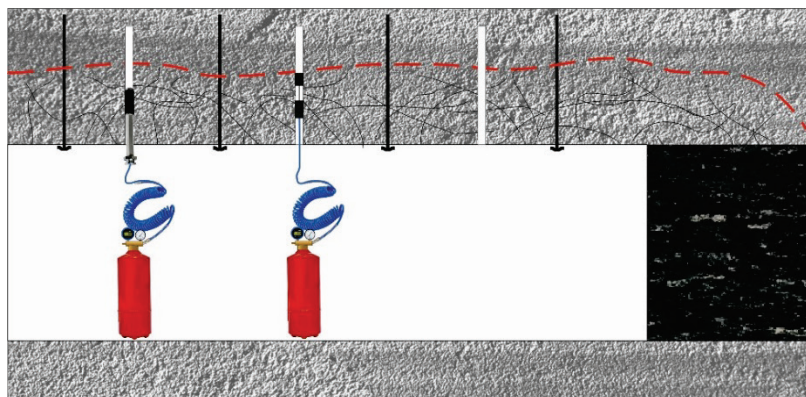


Рис. 2. Пример результата оперативного реометрического контроля

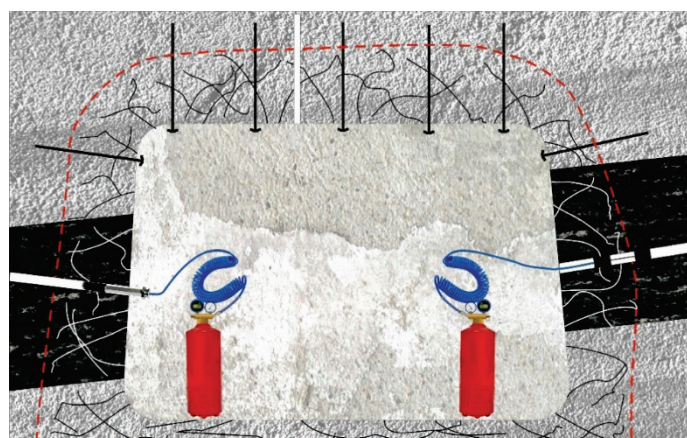
При проведении замеров в нетронutom массиве горных пород бурят две скважины на расстоянии одна от другой 1 метр — нагнетательную и сбросную, для возможности оценки перетока воздуха по трещинам. При проведении замеров в закрепленной анкерами выработке от диагностической скважины до любой соседней необходимо соблюдать расстояние не менее одного метра. При наличии изолирующего сооружения диагностические скважины бурятся перед ним в бортах и кровле на расстоянии не более одного метра, позволяя провести как предварительный, так и последующий контроль качества изоляционных работ. Пример схем подключения ма-

нометра-регистратора в выработке указан на рис. 3.

При выполнении замеров манометр-регистратор подключается через соединительную магистраль к ресиверу и закрепленному в диагностической скважине пакеру при помощи быстроразъемных соединений. Ресивер закачивается воздухом при помощи насоса ручного пневматического до давления 0,3–0,5 МПа (в зависимости от геометрических размеров диагностической скважины и условий контроля). Манометр-регистратор в автоматическом режиме фиксирует результаты измерений.



а)



б)

Рис. 3. Пример схем проведения замеров:
а) в кровле горной выработки, б) перед перемычкой горной выработки

Оценка фактического состояния нарушенного массива горных пород включает определение следующих характеристик.

Коэффициент проницаемости пород (по результатам замеров):

$$K_{np} = \Delta P / (\Delta l \cdot t),$$

где K_{np} — коэффициент проницаемости пород, МПа/м·с; ΔP — падение давления воздуха на исследуемом интервале шпура, МПа; Δl — длина отрезка шпура, находящегося под давлением, м; t — время истечения воздуха из емкости, с.

Коэффициент трещиноватости пород в исследуемом интервале шпура

$$K_{тр} = 80 \cdot [S_{экв} / (\pi \cdot r_{ш} \cdot \Delta l)],$$

где $S_{экв}$ — площадь эквивалентного отверстия, определяемая по тарировочной кривой (рис. 4) для данной реометрической установки по известному значению K_{np} , м²; $r_{ш}$ — радиус шпура, м.

Использование критерия оценки состояния массива в виде соотношения коэффициентов трещиноватости до ($K_{тр}^0$) и после ($K_{тр}^n$) проведения инъекционного упрочнения $K = K_{тр}^0 / K_{тр}^n$ позволяет оценивать степень нарушения объекта исследований во времени и пространстве.

Оценивая сплошность массива горных пород, ее следует считать удовлетворительной, если полученный коэффициент трещиноватости составляет менее 0,001.

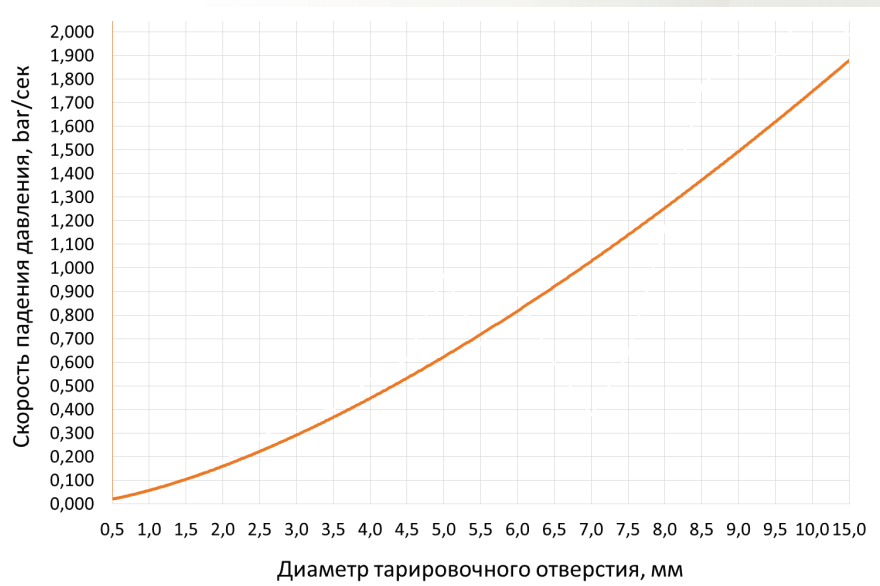


Рис. 4. График тарировки манометра-регистратора (при температуре 23 °С)

При больших значениях полученного коэффициента трещиноватости необходима специализированная оценка возможности применения результата для условий указанных геотехнологий. В процессе диагностики и контроля для каждого типа объектов и применяемой технологии рекомендуется набирать статистический материал с целью последующего составления соответствующих номограмм, позволяющих более оперативно классифицировать выявленную ситуацию и/или технологические аспекты ведения горных работ. При обнаружении преобладающего числа выпадающих значений требуется скорректировать процесс тарировки оборудования, учитывая особен-

ности истечения воздуха из щелевых отверстий или через пористую среду.

ВЫВОДЫ

Разработанная методика оперативной диагностики и контроля трещиноватости и фильтрационных свойств массива пород с применением визуально-измерительного и реометрического контроля позволяют повысить эффективность организации оперативного геомеханического мониторинга при ведении горных работ. Совершенствование приборной базы, с использованием высокоточных средств измерений, позволяет повысить качество и скорость проведения исследовательских работ в шахтах и рудниках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Майоров А.Е., Абрамов И.Л., Нургалиев Е.И. Исследование физико-механических характеристик горных пород и специализированных материалов для технологий строительства, реконструкции и безопасной эксплуатации угольных шахт // Вестник НЦ ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2017. № 3. С. 36–43.
2. Методические указания по оценке трещиноватости и фильтрационных свойств массива горных пород (временные) // ФИЦ УУХ СО РАН (Институт угля), ООО НПК «УГМ». Кемерово, 2016. 21 с.
3. Турчанинов И.А., Козырев А.А., Каспарьян З.В. Руководство по определению нарушенности пород вокруг выработок реометрическим методом. Апатиты, 1971. 44 с.
4. Руководство по определению коэффициента фильтрации водоносных пород методом опытной откачки – П717-80. М.: Энергоиздат, 1981.
5. Руководство по предотвращению пучения почвы и повышению устойчивости горных

выработок активной разгрузкой и последующим упрочнением пород (АРПУ). Коммунарский горно-металлургический институт (КГМИ), 1985.

6. Хмяляйнен В.А., Бурков Ю.В., Сыркин П.С. Формирование цементационных завес вокруг капитальных горных выработок. М.: Недра, 1994. 400 с.

7. Хмяляйнен В.А., Митраков В.И., Сыркин П.С. Физико-химическое упрочнение пород при сооружении выработок. М.: Недра, 1996. 352 с.

8. Майоров А.Е., Хмяляйнен В.А. Консолидирующее крепление горных выработок. Новосибирск, 2009. 260 с.

9. Инструкция по предупреждению и тушению подземных эндогенных пожаров в шахтах Кузбасса. ФГУП «РосНИИГД», ФГУП «НЦ ВостНИИ». Кемерово, 2007. 77 с.

10. Методические указания по неразрушающему контролю состояния перемычек в шахтах и рудниках. ООО НПК «УГМ». Кемерово, 2014. 14 с.

11. ГОСТ 26450.2-85 Породы горные. Методы определения коллекторских свойств. Метод определения коэффициента абсолютной газопроницаемости при стационарной и нестационарной фильтрации / Утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 27 февраля 1985 г. № 424.

12. ГОСТ 25584-90 Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации / Утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 04 апреля 1990 г. № 32.

13. СНиП II-94-80 Свод правил. Подземные горные выработки (актуализированная редакция) / Утвержден Приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 30 июня 2012 г. № 283. Дата введения 1 января 2013 г.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2021.90.58.002

UDC 620.1.051

© A.E. Mayorov, I.L. Abramov, D.P. Kulik, 2021

A.E. MAYOROV

Doctor of Engineering Sciences, Professor of RAS,
Head of the Laboratory
FRC CCC SB RAS, Kemerovo
Professor of the Department
KuzSTU, Kemerovo

I.L. ABRAMOV

Candidate of Engineering Sciences,
Associate Professor, Senior Researcher
FRC CCC SB RAS, Kemerovo
Associate Professor
KuzSTU, Kemerovo
e-mail: ilabramov@rambler.ru

D.P. KULIK

Lead Engineer, Postgraduate
FRC CCC SB RAS, Kemerovo

EVALUATION OF FRACTURE AND FILTRATION PROPERTIES OF ROCK MASS

The method of operational diagnostics and control of fracture and filtration properties of the rock mass in the process of assessing the technical condition of underground structures, geomechanical monitoring of coal mines and mines, engineering and geological surveys has been developed.

Keywords: ROCK MASS, FRACTURE, PERMEABILITY, OPERATIONAL DIAGNOSTICS, RHEOMETRIC CONTROL, FILTRATION, GROUTING.

REFERENCES

1. Mayorov A.E., Abramov I.L., Nurgaliev E.I. Investigation of physical and mechanical characteristics of rocks and specialized materials for construction technologies, reconstruction and safe operation of coal mines // Bulletin of the VostNII Scientific Center for Industrial and Environmental Safety [Vestnik NC VostNII po promyshlennoy i ekologicheskoy bezopasnosti]. 2017. No. 3. P. 36–43. [In Russ.].
2. Methodological guidelines for assessing fracturing and filtration properties of a rock mass (temporary) // FRC CCC SB RAS (Institute of Coal), OOO NPK UGM. Kemerovo, 2016. 21 p. [In Russ.].
3. Turchaninov I.A., Kozyrev A.A., Kasparyan Z.V. Guidelines for determining the disturbance of rocks around workings by the rheometric method. Apatity, 1971. 44 p. [In Russ.].
4. Guidelines for determining the filtration coefficient of aquifers by the experimental pumping method – P. 717-80. M.: Energoizdat, 1981. [In Russ.].
5. Guidelines for preventing soil heaving and increasing the stability of mine workings by active unloading and subsequent rock hardening (AUSR). Kommunarsky Mining and Metallurgical Institute (KMMI), 1985. [In Russ.].
6. Khayamalyaynen V.A., Burkov Yu.V., Syrkin P.S. Formation of grout curtains around capital mine workings. M.: Nedra, 1994. 400 p. [In Russ.].
7. Khayamalyaynen V.A., Mitrakov V.I., Syrkin P.S. Physical and chemical hardening of rocks during the construction of workings. M.: Nedra, 1996. 352 p. [In Russ.].
8. Mayorov A.E., Khayamalyaynen V.A. Consolidating support of mine workings. Novosibirsk, 2009. 260 p. [In Russ.].
9. Instructions for the prevention and suppression of endogenous underground fires in the mines of Kuzbass. FSUE «RosNIIGD», FSUE «NC VostNII». Kemerovo, 2007. 77 p. [In Russ.].
10. Guidelines for non-destructive testing of the condition of bulkheads in mines and mines. LLC NPK UGM. Kemerovo, 2014. 14 p. [In Russ.].
11. GOST 26450.2-85 Mountain rocks. Methods for determining reservoir properties. Method for determining the absolute gas permeability coefficient for stationary and non-stationary filtration / Approved and put into effect by the Resolution of the USSR State Committee for Standards dated February 27, 1985. No. 424. [In Russ.].
12. GOST 25584-90 Soils. Methods for laboratory determination of the filtration coefficient / Approved and put into effect by the Decree of the State Committee of the USSR for standards dated April 04, 1990. No. 32. [In Russ.].
13. SNiP II-94-80 Code of rules. Underground mine workings (updated version) / Approved by Order of the Ministry of Regional Development of the Russian Federation (Ministry of Regional Development of Russia) No. 283 dated June 30, 2012. The date of introduction is January 1, 2013. [In Russ.].