

## РЕОМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ТРЕЩИНОВАТОСТИ И ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

Кононова О. А., студент гр. ФПс-131, V курс  
Кузбасский государственный технический университет  
имени Т. Ф. Горбачёва  
г. Кемерово

Научный руководитель: Майоров А. Е., д.т.н. профессор РАН,  
профессор кафедры теоретической и геотехнической механики КузГТУ,  
главный научный сотрудник ФИЦ УУХ СО РАН

Обеспечение надежности и безопасности ведения горных работ являются важными задачами при подземной добыче полезных ископаемых. Ключевым моментом в решении этих вопросов является своевременная организация оперативного геомеханического мониторинга физического состояния природных и техногенных массивов горных пород шахт и рудников (далее – массив горных пород). Важной характеристикой физико-механического состояния массива горных пород является трещиноватость. Наряду с прочностью, трещиноватость – главный критерий устойчивости горных пород. Соответственно, актуальны вопросы оперативной диагностики состояния приконтурной зоны, позволяющие оценить реальную интенсивность трещиноватости и фильтрационные свойства массива [1, с. 2].

Одним из наиболее эффективных, простых и доступных инженерных методов оперативного контроля параметров нарушенной зоны объекта исследований с оценкой его фактической трещинной проницаемости при помощи прямых измерений является реометрический контроль [1, с. 5].

Реометрический или фильтрационный контроль основан на измерении утечек жидкости или газа (чаще воды или воздуха) в изолированном участке шпура или скважины на различной глубине через трещины и определении проницаемости пород под давлением на этих участках. Известны три схемы реометрических измерений [2, с. 25]:

- I. Нагнетание в одиночные шпуры при неизменном положении забоя шпура и переменной величине испытуемого интервала;
- II. Нагнетание в один из двух параллельных шпуров при переменном положении забоя одного из шпуров и постоянной величине испытуемого интервала;
- III. Нагнетание в один из параллельных шпуров при постоянном положении забоя и постоянной величине исследуемого интервала.

Наибольшее распространение получили схемы I и III. Схема I позволяет определить степень нарушенности приконтурной зоны открытыми трещинами, выходящими на контур выработки. По схеме III регистрируют фильтрующие трещины, соизмеримые по простиранию с расстоянием между параллельными шпурами. Эта схема дает наиболее полное представление о распространении нарушений в глубь массива.

В горном деле практическое применение получил метод реометрии, основанный на нагнетании воздуха. Такую вариацию метода впервые предложил А.М. Фридлянд [2, с. 25]. Применение воздуха для определения фильтрационных свойств необводненных горных пород имеет ряд преимуществ:

- небольшое давление нагнетания и большая сжимаемость газа, не вызывают деформации исследуемых пород;
- возможно определение коэффициента фильтрации слабопроницаемых, многолетнemerзлых легко размываемых пород;
- более простые устройства для проведения опытно-фильтрационных работ;
- трудоемкость и продолжительность работ значительно меньше.

Указанный подход активно применяют и в Кузбассе при проведении исследований по оценке трещиноватости приконтурной зоны горных выработок, в том числе Институтом угля СО РАН (структурное подразделение ФИЦ УУХ СО РАН) и научно-производственной компанией «УГМ-Сервис», Кемерово. В соответствии с совместно разработанной методикой [3], технология проведения реометрического контроля заключается в следующем: перед проведением замера выполняют механическую очистку и подготовку диагностической скважины; исследуемый участок герметизируют и через реометрическую установку заполняют воздухом из шахтной магистрали; в момент времени  $t = 0$  входной вентиль закрывают, и воздух из реометрической установки начинает истекать через трещины приконтурного массива. В процессе замера фиксируют показания изменения (скорость падения) давления, по которым выстраивают соответствующий график для каждой диагностической скважины (рис. 1).

Учитывая многолетний опыт работы специалистов различных научных и научно-производственных организаций [6, 8-12], в том числе необходимость выполнения требований инструкций [4, 5], для реализации метода разработаны специальные средства контроля и вспомогательное оборудование – установка реометрическая УР-1 на базе автономного портативного цифрового манометра-регистратора Crystal XP2i с даталоггером, термокомпенсацией, в искробезопасном исполнении (Ex), пылевлагонепроницаемом корпусе (IP67) (рис.

2). Установка состоит из следующих элементов: 1 – емкость с сжатым воздухом; 2 – переходник с ниппелем; 3 – калибратор цифровой автоматический; 4 – манометр стрелочный контрольный; 5 – шланг; 6 – пакер механический (пневматический). Установка укомплектована насосом ручным пневматическим (на рисунке не показан) для автономного заполнения аккумулирующей емкости воздухом при проведении контроля.

При необходимости определения трещиноватости именно в определенной зоне, используют пакер с двумя герметизирующими манжетами, между которыми располагается участок контроля. Пример схем подключения установки в выработке представлен на рис. 3.



Рис. 1. Пример отчета реометрического контроля диагностической скважины



Рис. 2. Установка реометрическая

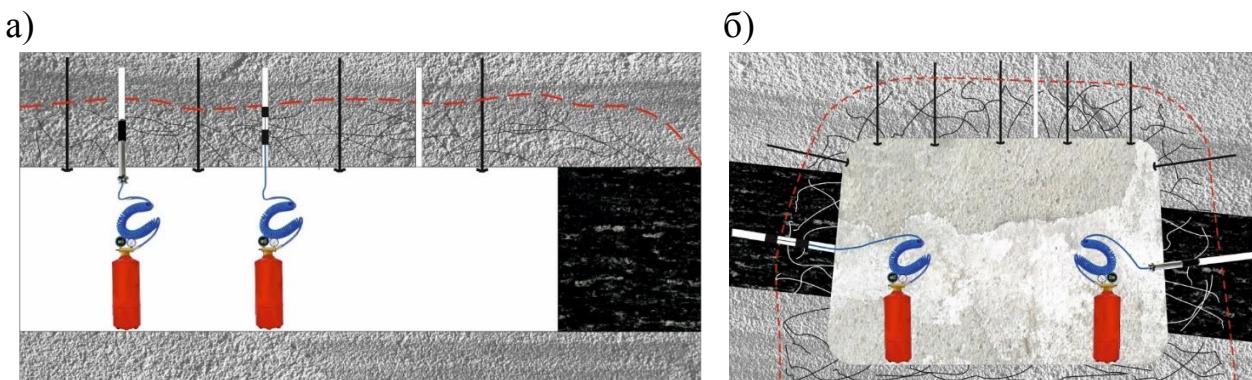


Рис. 3. Схема проведения замеров: а) в кровле выработки; б) перед перемычкой

Фактическое состояние нарушенного массива горных пород при реометрическом контроле может быть оценено по нижеследующим критериям [6].

Коэффициент проницаемости пород по результатам замеров:

$$K_{\text{пр}} = \frac{\Delta P}{\Delta l \cdot t}$$

где  $K_{\text{пр}}$  – коэффициент проницаемости пород, МПа·м·с;  $\Delta P$  – падение давления воздуха на исследуемом интервале шпура, МПа;  $\Delta l$  – длина отрезка шпура, находящегося под давлением, м;  $t$  – время истечения воздуха из емкости, с.

Коэффициент трещиноватости пород в исследуемом интервале шпура:

$$K_{\text{тр}} = 80 \cdot \frac{S_{\text{экв}}}{\pi \cdot r_{\text{ш}} \cdot \Delta l}$$

где  $S_{\text{экв}}$  – площадь эквивалентного отверстия, определяемая по тарировочной кривой для данной реометрической установки по известному значению  $K_{\text{пр}}$ , м<sup>2</sup>;  $r_{\text{ш}}$  – радиус шпура, м.

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

Критерии оценки фактического состояния нарушенного массива горных пород и их изменение с течением времени имеют очень широкую область применения: позволяют оценить степень и размеры нарушенной приконтурной зоны горной выработки, рост количества трещин на 1 погонный метр (удельную трещиноватость), 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, а также, оценивать качество инъекционного упрочнения и тампонажа нарушенных гор-

ных пород, изоляции и восстановления технического состояния горных выработок и других подземных сооружений, эффективность проведения дегазационных работ.

Дальнейшая совместная работа будет направлена на отработку методики реометрического контроля фактического состояния нарушенного массива пород, а также сбор статистического материала с целью последующего составления соответствующих номограмм, позволяющих более оперативно классифицировать выявленную ситуацию и/или технологические аспекты ведения горных работ.

#### Список литературы:

1. Нургалиев, Е.И. Диагностика и контроль состояния нарушенного приконтурного массива пород при возведении и эксплуатации безврубовых перемычек / Е.И. Нургалиев, А.Е. Майоров // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2016. Материалы XVI международной научно-практической конференции, 23-24 ноября 2016 г., Кемерово [Электронный ресурс] / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т.Ф. Горбачёва»; редкол.: А.А. Хорешок (отв. редактор), В.А. Колмаков, С.Г. Костюк (зам. отв. редактора) [и др.]. – Кемерово, 2016.
2. Дианов В.М. Поддержание горных выработок в скальных породах на больших глубинах / В.М. Дианов, Ю.Р. Катков / под ред. д.т.н Ю.В. Демидова. – Апатиты: Изд-во КНЦ АН СССР, 1990. – 112 с.
3. 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. (Выпуск 1).
4. Инструкция по предупреждению и тушению подземных эндогенных пожаров в шахтах Кузбасса // ФГУП РосНИИГД, ФГУП НЦ ВостНИИ. – Кемерово, 2007. – 77 с.
5. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по изоляции неиспользуемых горных выработок и выработанных пространств в угольных шахтах и контролю изолирующих перемычек». Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 28.11.2014 г. №530.
6. Турчанинов И.А., Козырев А.А. Каспарьян З.В. Руководство по определению нарушенности пород вокруг выработок реометрическим методом. - Апатиты: КФ АН СССР, 1971. - 43 с.
7. Руководство по предотвращению пучения почвы и повышению устойчивости горных выработок активной разгрузкой и последующим упрочнением пород (АРПУ) / Утвержден Первым заместителем министра угольной

промышленности УССР Н.С.Сургай 17 июня 1985 г. Коммунарский горно-металлургический институт (КГМИ), – 1985.

8. Хямяляйнен, В.А. Формирование цементационных завес вокруг капитальных горных выработок / В.А. Хямяляйнен, Ю.В. Бурков, П.С. Сыркин. – М.: Недра, 1994. – 400 с.

9. Хямяляйнен, В.А. Физико-химическое упрочнение пород при сооружении выработок / В.А. Хямяляйнен, В.И. Митраков, П.С. Сыркин. – М.: Недра, 1996. – 352 с.

10. Майоров А.Е. Консолидирующее крепление горных выработок / А.Е. Майоров, В.А. Хямяляйнен; науч. ред. В.А. Хямяляйнен; Сиб. отд-ние РАН, КемНЦ. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. – 260 с.

11. Нургалиев, Е.И. Технология скоростного возведения высокопрочных безвтуровых перемычек с использованием специализированных цементных смесей / Е.И. Нургалиев, А.Е. Майоров, Г.Н. Роут // Журнал Уголь. – 2014. – №6. – С 20-23.

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