

- «Шахтный и карьерный транспорт». Вып. 3. Под ред. А.О. Спиваковского. – Москва: «Недра», 1977, с. 151-161.
3. Смирнов В.К., Новиков Е.Е. Отыскание периодических решений уравнений многомассовых динамических систем транспортных машин – В кн. «Динамика и прочность горных и транспортных машин». Сб. научн. тр. – Киев: «Наукова думка», 1978, с. 3-17.
4. Приседский Г.В., Дорошенко Н.П., Серый В.П., Норенко И.И. Формирование выходных нагрузок в элементах ленточного конвейера. В кн. «Шахтный и карьерный транспорт». Вып. 3. Под ред. А.О. Спиваковского. – Москва: «Недра», 1977, с. 11-18.
5. Оксень Е.И. Динамическое моделирование механизмов горно-транспортных машин непрерывного действия // «Геотехнічна механіка»: Міжвід. зб. наук. праць. Вип. 42 – Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ, 2003, с. 155-164.
6. Оксень Е.И. О методе динамического моделирования ленточных конвейеров и питателей // «Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»: Збірн. наук. праць. Тематичний випуск: Динаміка і міцність машин. – Харків: НТУ «ХПІ», 2003, №8, т. 3, с. 11-18.
7. Оксень Е.И. Динамическое моделирование механизмов ленточного питателя методом n-масс «Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету»: Збірн. наук. праць – Кременчук: КДПУ, 2003, №2 (19), с. 265-268.
8. Оксень Е.И. Расчёт нагружения рабочих органов питателей при выдаче насыпных грузов из бункеров // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научн. тр. – Донецк: ДонГТУ, 2001. Вып. 17, – с. 144-148.
9. Дьяконов В.П. Вейвлеты. От теории к практике – Москва: СОЛОН-Р, 2002. – 440 с.
10. Оксень Е.И. Аппаратно-программный комплекс измерения параметров деформирования зернистых сред // «Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматика». Вип. 47. – Донецьк: ДонНТУ, 2002, с. 277-283.

УДК 622.831

Д-р техн. наук В.С. Кулинич,
д-р техн. наук В.Г. Перепелица
канд. техн. наук Л.Д. Шматовский
(ИГТМ НАН Украины),
канд. техн. наук С.В. Кулинич
(шахта им. Ю.А.Гагарина ГХК "Артемуголь")

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
ГАЗОНОСНОГО УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА**

Викладені результати визначення напруженого стану, газонасиченості і механічних властивостей газоносного вуглепородного масиву

**THEORETICAL AND EXPERIMENTAL ASPECTS
DEFINITIONS OF PARAMETERS OF A GEOMECHANICAL CONDITION
ГАЗОНОСНОГО УГЛЕПОРОДНОГО OF A FILE**

The stated results of definition of the strained condition of gas content and mechanical properties of gas bearing and rock mass.

Основными параметрами, обуславливающими геомеханическое состояние газоносного углепородного массива, являются действующие напряжения, газонасыщенность и механические свойства горных пород.

Доказано [1], что наиболее технологичным для оценки напряженного состояния углепородного массива является способ определения величины и направления действующих главных напряжений локальным гидроразрывом

(ЛГР). Его физической основой является количественная зависимость критического давления жидкости при гидроразрыве изолированного участка нагнетательной скважины от напряженного состояния и свойств разрушаемой среды.

Сущность метода заключается в следующем.

В намеченном для оценки напряженного состояния участке породного массива бурят измерительную скважину. В заданной ее части (см. рис. 1) герметизируют нагнетательную камеру, в которую высоконапорным насосом закачивают жидкость до критического давления (P_k^*), приводящего к гидроразрыву стенок камеры. Признаком гидроразрыва (см. рис. 2) является скачкообразное снижение избыточного давления рабочей жидкости в камере с последующей стабилизацией его на пониженном уровне (P_{cm}) при постоянном темпе нагнетания. Инструментально фиксируемые численные значения параметров локального гидроразрыва (P_k^* и P_{cm}) с учетом прочностных, коллекторских свойств среды и способов герметизации нагнетательной камеры используют для определения величины главных компонент поля напряжений в плоскости, ортогональной продольной оси скважины.

Герметизацию нагнетательных камер в скважинах (см. рис. 1) осуществляют герметизирующими составами (на цементной, клеевой, полимерной основе) или распорными герметизаторами различных конструкций. Герметизирующие составы, как правило, применяют для герметизации нагнетательных камер в торцевых частях скважин. Распорные герметизаторы используют для локального гидроразрыва в любом заданном участке измерительной скважины, практически неограниченной длины.

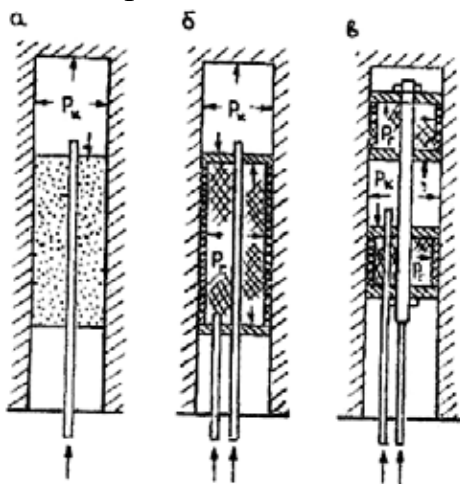


Рис. 1. Схемы локального гидравлического разрыва в измерительных скважинах при различной герметизации нагнетательных камер: а – герметизирующим составом; б – распорным однопакерным герметизатором; в – распорным двухпакерным герметизатором.

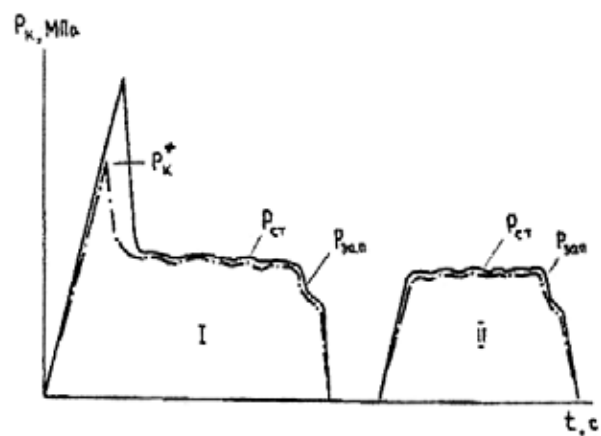


Рис. 2. Изменение давления рабочей жидкости в нагнетательной камере при гидравлическом разрыве: I, II – первоначальный и повторный циклы нагнетания; сплошная линия – при безраспорной герметизации камеры; пунктир – при герметизации распорным герметизатором.

В зависимости от способов герметизации и конструкции герметизирующих устройств влияние их на напряженно-деформированное состояние околоскважин-

турной части измерительных скважин различно. Использование герметизирующих составов (безраспорный способ герметизации) не вносит существенных изменений в исходное напряженно-деформированное состояние стенок скважины, тогда как применение распорных герметизаторов в результате силового взаимодействия упругих герметизирующих элементов (пакеров) со стенками скважин приводит к деформированию последних вплоть до возможного разрушения. Существенным является различие в силовых параметрах процесса зарождения первоначальных трещин локального гидроразрыва. При герметизации распорными способами наиболее благоприятной для зарождения трещин гидроразрыва является предварительно растянутая локальная область у сопряжения нагнетательной камеры с распорным герметизатором, где происходит силовое взаимодействие распорного и гидравлического усилий.

Рациональная область применения метода локального гидроразрыва - монолитные породы, склонные к хрупкому разрушению.

Расчетный аппарат метода разработан на базе решения плоских задач теории упругости о предельном состоянии толстостенного породного цилиндра, нагруженного на бесконечности внешним (горным), а внутри гидростатическим давлениями с учетом природных и технологических факторов. Для определения составляющих внешнего поля напряжений используют критериальное уравнение [1, 2]:

$$P_k^* = \frac{3\sigma_3 - \sigma_1 + p^* - mP_0}{1 + \sigma_p \sigma_{сж}^{-1}} - K_1 \Psi P_2^* , \quad (1)$$

где P_k^* - критическое давление рабочей жидкости в момент начального образования трещин; σ_1 и σ_3 - соответственно большая и меньшая компоненты внешнего поля напряжений в плоскости, ортогональной продольной оси измерительной скважины; p^* - предел сопротивления пород гидравлическому разрыву при отсутствии внешних напряжений; m - коэффициент трещинно-поровой структуры породы; P_0 - внутрипоровое давление; σ_p и $\sigma_{сж}$ - пределы сопротивления породы одноосному растяжению и сжатию; K_1 - коэффициент передачи давления распорного герметизатора на стенку скважины; Ψ - коэффициент взаимодействия рабочей жидкости с распорным герметизатором; P_2^* - величина распорного давления в герметизаторе в момент гидроразрыва.

При герметизации нагнетательных камер безраспорными способами (цементные, клеевые составы, полимеры) или использовании герметизаторов с упругими оболочками, подвижными в осевом направлении при нагнетании рабочей жидкости в камеру, последнее слагаемое в уравнении (1) следует принимать равным 0.

Значение p^* определяют в лабораторных или полевых условиях гидроразрывом толстостенных образцов цилиндрической или неправильной формы. Значение указанного параметра для образцов скальных пород при безраспорном способе герметизации нагнетательных камер изменяется в пределах от 10

до 40 МПа, примерно в 2 раза превышая пределы их сопротивления одноосному растяжению [1, 2, 3].

Внутрипоровое давление флюидов в массиве (P_0) находят экспериментально или ориентировочно принимают равным гидростатическому на данной глубине от земной поверхности.

Коэффициент трещинно-поровой структуры (m) определяют экспериментально. Для большинства скальных пород его величина колеблется в пределах 0,15-0,3 [1].

Коэффициент передачи распорного давления герметизатора на стенку скважины определяют в толстостенных матрицах с использованием тензометрических методов измерения. Для герметизаторов с резиновой оболочкой $K_1 = 0,7-0,9$ [1, 3].

Коэффициент Ψ зависит от отношения давления рабочей жидкости в нагнетательной камере к величине распорного давления в герметизаторе. Его величина изменяется от 0 до 1 и вычисляется по формуле [1]:

$$\Psi = 1 - P_K^* / P_z^* \quad (2)$$

Уравнение (1) используют для расчета большей компоненты поля напряжений (σ_1) в плоскости, ортогональной продольной оси скважины. Величину меньшей компоненты σ_3 , являющейся вторым неизвестным в уравнении (1), определяют экспериментально по стабилизированному давлению рабочей жидкости в нагнетательной системе после образования начальной трещины гидроразрыва (см. рис. 2).

Из анализа решения задач линейной механики разрушения (А. Гриффитс, Д. Ирвин, И. Снеддон, А.Д. Алексеев, Г.И. Баренблатт, Ю.П. Желтов, А.А. Каминская, В.В. Панасюк, В.З. Партон, Г.П. Черепанов, С.А. Христианович и др.) следует, что энергетические или силовые параметры трещинообразования обусловлены свойствами разрушаемого материала (трещиностойкостью), а условие обеспечения роста выходящих на криволинейную поверхность радиальных трещин под действием внутреннего гидростатического давления (P_{cm}) в напряженной, склонной к хрупкому разрушению среде, соответствует зависимости:

$$P_{cm} \geq \sqrt{\frac{E\gamma_{эф}}{2\pi l(1-\nu^2)}} + \sigma_3, \quad (3)$$

где E и ν - деформационные параметры среды; $\gamma_{эф}$ - эффективная поверхностная энергия разрушения; $2l$ - длина трещины гидроразрыва; σ_3 - сжимающая компонента поля напряжений, перпендикулярная плоскости гидроразрыва.

Из зависимости (3) следует, что, вследствие убывающего характера изменения первого слагаемого и относительно невысоких его предельных значений с увеличением длины трещины, необходимое для ее роста внутреннее давление

рабочей жидкости в условиях реального напряженно-деформированного состояния горных пород на современных глубинах, будет в основном обусловлено влиянием меньшей составляющей тензора напряжений, т.е.

$$\sigma_3 \cong P_{cm} \quad (4)$$

Бурение измерительных скважин осуществляют серийно выпускаемыми станками вращательного действия (ЗИФ, НКР-100, БГА-2 ЭБГП и др.).

В зависимости от крепости пород используют алмазные или твердосплавные коронки диаметром 46-76 мм. Для извлечения кернового материала применяют стальные колонковые трубы длиной 1-2 м, соединенные со стандартными буровыми штангами при помощи переходников.

Созданный в ИГТМ НАН Украины комплект основного оборудования и приборов для измерения напряжений локальным гидроразрывом включает герметизирующие устройства, высоконапорный насос, запорно-разводящую арматуру, нагнетательные трубопроводы, манометры, устройства для определения пространственной ориентации плоскости гидроразрыва (см. рис. 3).

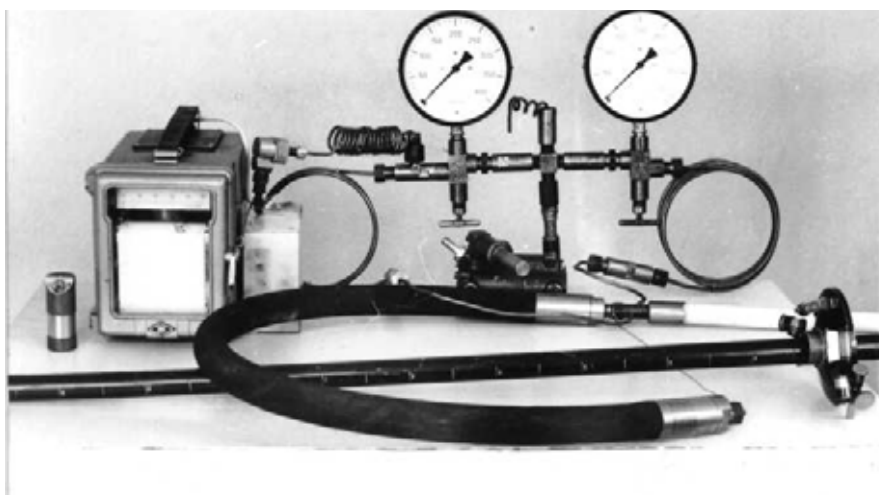


Рис. 3 – Комплект оборудования и аппаратуры для определения напряжений методом локального гидравлического разрыва.

Для герметизации нагнетательных камер в измерительных скважинах применяют распорные герметизаторы (пакерные устройства) различных конструкций или твердеющие герметизирующие составы.

Герметизирующими элементами в распорных герметизаторах являются упругие резиновые оболочки, концевые части которых жестко закреплены в кольцевых зазорах между стальными обоймами и втулками или вмонтированы в стальные стаканы, неподвижно установленные на перфорированном монтажном стержне. По количеству герметизирующих оболочек устройства могут быть одно- или двухпакерные (см. рис. 1). Распор герметизаторов осуществляется внутренним давлением жидкости или предварительно создаваемыми осевыми механическими усилиями.

Нагнетательные трубопроводы монтируют из стандартных цельнотянутых латунных или медных трубок диаметром 5-6 мм с толщиной стенки не менее 1 мм, подсоединяемых к насосу и герметизатору при помощи переходных муфт.

Для регистрации избыточных давлений в нагнетательных системах применяют образцовые манометры с пределами измерений до 60-100 МПа, самопишущие манометры (МСТМ-410, МТС-710 и др.) и датчики давления в комплекте с самопишущими приборами.

Для инструментального определения пространственной ориентации плоскости гидроразрыва, характеризующей направление компонент поля напряжений в плоскости, ортогональной продольной оси скважины, используют переоборудованное для шахтных условий перископическое устройство РВП-456, импрессионные пакеры и электромагнитный прибор КИТ-3 [1, 4, 5].

Место, количество, длина и направление бурения измерительных скважин обуславливаются поставленными задачами исследований. В качестве измерительных могут быть использованы скважины, пробуренные с земной поверхности и из подземных горных выработок. Так как в одной измерительной скважине можно определить две главные компоненты поля напряжений, действующих в плоскости, ортогональной ее продольной оси, то для общей оценки напряженного состояния заданного участка породного массива необходимо направленное бурение не менее двух взаимно ортогональных скважин, ориентированных в направлении действия главных компонент тензора напряжений. При неизвестном направлении главных напряжений, учитывая, что одно из них совпадает, как правило, с вектором гравитационных сил, бурить вначале следует вертикальную скважину, по результатам гидравлического разрыва в которой определяют величину и направление главных горизонтальных составляющих. Для получения вертикальной составляющей тензора напряжений измерения выполняют в горизонтальной скважине, пробуренной параллельно или ортогонально направлению вертикальной плоскости гидроразрыва. Поэтому предпочтительным является выполнение работ из подземных горных выработок. Замерные станции при этом целесообразно оборудовать в тупиковых горных выработках или специально пройденных нишах. Это позволяет, осуществив бурение и измерение в трех взаимно ортогональных скважинах, повысить надежность получаемой информации.

Технология измерения напряжений в массиве горных пород с использованием специального комплекта оборудования включает следующие основные операции.

В намеченном для оценки напряженного состояния участке породного массива бурят вертикальную измерительную скважину. В торцевой ее части при помощи досыльников устанавливают герметизатор на расстоянии, обеспечивающем длину нагнетательной камеры не менее трех диаметров скважины. Высоконапорным насосом в герметизаторе создают заданное, контролируемое по манометру, распорное давление. Затем нагнетают рабочую жидкость в измерительную камеру, фиксируя по манометру критическое давление жидкости (P_k^*) в момент гидроразрыва стенок камеры и стабилизированное давление (P_{cm}) при

постоянном темпе нагнетания. По параметрам гидравлического разрыва P_k^* и P_{cm} определяют меньшую и рассчитывают согласно уравнению (1) большую горизонтальную компоненту тензора главных напряжений. После гидравлического разрыва и разгерметизации вертикальной измерительной скважины в ней при помощи перископического устройства или импрессионного пакера определяют пространственную ориентацию плоскости гидроразрыва, характеризующей направление горизонтальных главных компонент поля напряжений. Плоскость гидроразрыва в вертикальной скважине, пробуренной в скальных породах при разнокомпонентном напряженном состоянии, как правило, совпадает с направлением большей и ортогональна меньшей горизонтальным составляющим поля напряжений [4, 5].

Затем с учетом пространственной ориентации плоскости гидроразрыва в вертикальной скважине бурят одну или две горизонтальных скважины, одна из которых параллельна, а вторая перпендикулярна направлению плоскости гидроразрыва. В горизонтальных скважинах осуществляют локальный гидроразрыв по описанной выше схеме, определяют величину вертикальной компоненты поля напряжений и уточняют ее пространственную ориентацию.

При наличии трех взаимно ортогональных скважин, пробуренных в породе одной литологической разности, увеличивается надежность численной оценки составляющих тензора напряжений в массиве горных пород за счет возможности сопоставления расчетной величины меньшей и промежуточной компонент поля напряжений со значениями давлений стабилизации в соответствующих измерительных скважинах [1, 4, 5, 6].

Таким образом, использование метода локального гидравлического разрыва позволяет количественно оценить величину и направление действия главных компонент действующего поля напряжений. Технологичность и надежность метода ЛГР подтверждена результатами его практического использования для количественной оценки напряженного состояния массива горных пород в 12 глубоких шахтах Донбасса.

Давление газа в массиве определяют прямым способом, путем инструментального скважинного измерения в загерметизированных измерительных камерах, расположенных в заданных участках углепородного массива. С целью повышения оперативности получения информации о величине газового давления используют разработанную в институте методику расчета по отрезку кривой его начального нарастания в измерительной камере согласно зависимости [1]:

$$P_r = \frac{P_i(t_i + t_0)}{t_i}, \text{ МПа} \quad (5)$$

где P_r - давление газа в массиве; P_i - давление газа, измеренное в момент времени t_i (сутки); t_0 - эмпирический коэффициент, характеризующий время, в течение которого давление газа достигает половины асимптотического значе-

ния.

Надежность информации о газонасыщенности разнокомпонентного напряженного массива обеспечивается использованием модернизированных распорных герметизирующих устройств, рациональным пространственным расположением дренажа скважин относительно направления главных составляющих поля напряжений и дренирующих поверхностей горных выработок, снижением фильтрационных утечек из измерительных камер путем создания в герметизаторах оптимальных распорных давлений.

Коэффициент крепости вмещающих пород f , определяют по осредненным значениям сопротивления их бурению - буримости (t_σ , мин/м) при постоянных технологических параметрах, используя зависимость [1]:

$$f = \frac{f_m t_\sigma}{t_\sigma + t_0}, \quad (6)$$

где f_m и t_σ - эмпирические коэффициенты, постоянные для конкретного вида и режима бурения.

Для обобщенной характеристики геомеханического состояния напряженного газоносного углелородного массива предложен комплексный критерий (S_0) в виде:

$$S_0 = \frac{\sigma_0 + P_G}{fn}, \quad (7)$$

где σ_0 - осредненное (октаэдрическое) напряжение, равное средне арифметической сумме главных напряжений

$$\sigma_0 = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3, \text{ МПа}$$

P_G - давление газа в массиве; f - коэффициент крепости пород по М.М. Протодыяконову; n - коэффициент разнокомпонентности, равный соотношению минимальной и максимальной составляющих поля напряжений в массиве.

Физический смысл n в том, что разнокомпонентность главных напряжений снижает несущую способность массива.

Разработан способ определения комплексного критерия S_0 в шахтных условиях. Основные операции выполняют в следующей последовательности.

В процессе бурения измерительных скважин (длиной не менее 10 м) при постоянных технологических параметрах в забое или в боках проводимой горной выработки по фиксируемому времени бурения (t_σ) определяют коэффициент крепости породы f . Через заданные интервалы по длине пробуренных скважин по силовым параметрам локальных гидроразрывов определяют глав-

ные составляющие поля напряжений ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$). Затем в загерметизированной скважине измеряют величину стабилизированного давления газа P_G , используя разработанный в ИГТМ НАН Украины экспресс-метод его расчета по отрезку кривой начального нарастания газового давления в камере, или рассчитывают по относительной газообильности после взрывных работ [1]. Подставляя полученные экспериментальные данные в зависимость с учетом того, что $n = \sigma_3 / \sigma_1$, определяют величину комплексного критерия S_0 , характеризующего геомеханическое состояние газонасыщенного углепородного массива.

При проведении противовыбросных и дегазационных мероприятий их эффективность можно оценить по сопоставлению численных значений комплексного критерия S_0 , определенного до и после выполнения этих мероприятий.

Многолетним опытом ведения горных работ по выбросоопасным породам в глубоких шахтах Донецко-Макеевского и Центрального районов Донбасса подтверждена технологичность и надежность практического использования комплексного критерия S_0 для оценки геомеханического состояния выбросоопасных пород и изменения его при проведении противовыбросных мероприятий: опережающей отработки защитных пластов, направленного трещинообразования и локальных методов, основанных на частичной разгрузке от напряжений и дегазации призабойной части выбросоопасного массива [4].

Использование опережающей отработки защитных пластов для предотвращения выбросов песчаника и газа на шахтах им. К.И. Печенкова, А.А. Скочинского, Ю.А. Гагарина осуществляли при проведении полевых выработок на горизонтах 900-1200 м с контролем основных параметров геомеханического состояния выбросоопасного породного массива до и после проведения противовыбросных мероприятий. При этом контролировали расположение забоев подготовительных выработок относительно надрабатывающих лав, периодически определяли главные напряжения, давление газа и крепость породного массива, позволяющих рассчитать критерий S_0 , анализировали нарушенность кернового материала из контрольных скважин, регистрировали газы, выделяемые после взрывных работ, дальность отброса и характер разрушения взорванной породы.

Установлено, что эффективность защитной надработки обеспечивалась при значении $S_0 < 2.5$, то есть при величине, меньшей в 2-2.5 раза, чем в выбросоопасных зонах газоносного породного массива. Признаков газодинамических явлений при проведении подготовительных выработок в пределах границ защищенных зон, установленных по критерию S_0 , не наблюдалось [4].

Таким образом, предложенный комплексный критерий оценки геомеханического состояния выбросоопасного массива горных пород целесообразно использовать как для оценки их выбросоопасности при проведении полевых горных выработок, так и для контроля эффективности противовыбросных мероприятий, в частности, при определении границ защищенных зон при отработке защитных пластов, направленном трещинообразовании и других мероприятиях,

основанных на частичной разгрузке и дегазации массивов, опасных по газодинамическим проявлениям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Кулинич В.С., Шевелев Г.А., Егоров СИ. Методы и средства определения состояния газоносного породного массива.- Донецк: ЦБНТИ, 1994. - 202 с.
2. Кулинич В.С. Теоретические и экспериментальные аспекты измерения напряжений в массиве горных пород гидравлическим разрывом. / Исследование напряжений в горных породах. Новосибирск, 1985. - С. 67-74.
3. Кулинич В.С. Оборудование и аппаратура для измерения напряжений в массиве горных пород способом гидравлического разрыва. / Уголь, 1988. - № 10. - С. 32-33.
4. Кулинич В.С. Опыт проведения полевых выработок по выбросоопасному песчанику с использованием защитного влияния опережающей пластовой надработки // Выбросы угля, породы и газа. - К.: Наук, думка, 1976.-С. 107-113.
5. Перспективные схемы использования защитных пластов для предотвращения выбросов песчаника и газа на шахтах Донецкого бассейна. Л.: ВНИМИ, 1982. - 44с.

УДК 622.281.406:622.257

Д-р техн. наук В.Г. Перепелица,
канд. физ.-мат. наук А.Н. Коломиец
инженер Т.В. Левченко
(ИГТМ НАН Украины)

ОЦЕНКА ОСОБЕННОСТЕЙ РАСШИРЯЮЩИХСЯ РАСТВОРОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ТАМПОНАЖНОГО КАМНЯ

Приведені результати лабораторних досліджень фізико-механічних властивостей тампонажних розчинів на основі розширюючого та напружуючого портландцементу, показано, що оптимальним для досягнення потрібного ефекту самонапруження являються суміші з вмістом фосфогіпсо-вапнистих спіків 7,5 %.

ESTIMATION OF PECULIARITIES OF EXTENDING SOLUTIONS BY FORMATION OF ROKE

The results of laboratory researches of physical-mechanical properties of sealing solutions are given on the basis of extending and stressing portland cement, is shown, that optimum for achievement of demanded effect of a self-stress the composition with the contents phoshohypso-lime cakes in quantity 7,5 % are.

В настоящее время в практике тампонажных работ все более широкое применение находят строительные смеси на основе расширяющихся и напрягающихся цементов, обладающих повышенной водостойкостью. Расширяющийся тампонажный материал полностью заполняет разломы, трещины, поры, а при твердении в стесненных условиях оказывает уплотняющее действие на материал породобетонной оболочки, образующейся в результате тампонажных работ. Наиболее распространены расширяющие и напрягающие цементы на основе глиноземистого цемента и портландцемента. Разработаны составы расширяющихся цементов на основе шлакопортландцемента [3, 6]. Достаточно полно изучены расширяющиеся и напрягающие цементы, эффект расширения которых основан на увеличении твердой фазы в твердеющем цементе при образова-