

В.С.Кулинич, В.Г.Перепелица, В.В. Шевченко,
А.Т. Курносов, Л.Д. Шматовский, Д.П. Гуня

РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА В ЗОНЕ ДЕГАЗАЦИИ ПЛАСТА l_1 ШАХТЫ им. А.Ф.ЗАСЯДЬКО

Приведені результати комплексної оцінки геомеханічного стану вуглепородного масиву, вміщуючого газонасичений пласт l_1 , в зоні його дегазації. Встановлені чисельні значення та просто-рова орієнтація головних напружень, діючих в цій частині вуглепородного масиву, оцінена ступінь його тріщинуватості.

RESULTS OF COMPLEX ESTIMATION OF GEOMECHANICAL STATE OF ROCK MASS IN THE ZONE DEGASATION SEAM'S l_1 OF THE MINE NAME BY A.F. ZASJADKO

Are adduced results of complex estimation of geomechanical state of rock mass, which holds gassaturated seam l_1 in zone its degasation. Are determined numerical values and spatial orientation of main stresses, which effect in this part of rock mass. Is estimated extent jointing of seam l_1 and gascontent rocks.

Комплексные исследования по оценке геомеханического состояния углепородного массива, вмещающего газоносный пласт l_1 , выполнены в 10-м западном конвейерном штреке горизонта 1078 м с целью определения величины и пространственной ориентации главных составляющих действующего поля напряжений, механических свойств боковых пород и степени их трещиноватости до и после гидродинамического воздействия на дегазируемый угольный пласт. Для оценки напряженного состояния углепородного массива использовали экспериментальные методы локального гидроразрыва (ЛГР) и буровых скважин; механические и прочностные свойства боковых пород определяли по сопротивлению их бурению (буримости) и результатам лабораторных исследований кернового материала из измерительных скважин; трещиноватость – по результатам визуального осмотра скважин оптическим и электромагнитным приборами, а также электрометрическим методом.

Гидравлический разрыв (ГР) в горных породах - это процесс начального образования и пространственного распространения трещин внутреннего давления (ТВД) под действием внутрискважинного гидростатического давления нагнетаемой рабочей жидкости. ГР в подземных условиях осуществляют с целью: определения действующих в горных породах напряжений; управления геомеханическим состоянием углепородного массива; интенсификации газоотдачи угольных пластов и пород и др. В зависимости от цели разрушения пород гидравлическим разрывом применяют различные технологические схемы.

Физической основой метода ЛГР 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 (рис. 1) герметизи-

руют нагнетательную камеру, в которую высоконапорным насосом закачивают жидкость до критического давления (P_k^*), приводящего к гидроразрыву стенок камеры. Признаком гидроразрыва (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 измерительной скважины.

Герметизацию нагнетательных камер в скважинах (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. В зависимости от способов герметизации и конструкции герметизирующих устройств влияние их на напряженно-деформированное состояние околоконтурной 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 область у сопряжения нагнетательной камеры с распорным герметизатором, где происходит силовое взаимодействие распорного (P_r) и гидравлического (P_k) усилий.

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 уравнение [1-3]

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

где P_k^* - критическое давление рабочей жидкости при распорной герметизации нагнетательной камеры в момент начального образования трещин внутреннего давления; σ_1 и σ_3 - соответственно большая и меньшая компоненты внешнего поля напряжений в плоскости, ортогональной продольной оси измери-

тельной скважины; p^* - предел сопротивления гидравлическому разрыву породы, вмещающей нагнетательную камеру, при отсутствии внешних напряжений; m - коэффициент трещинно-поровой структуры данной породы; P_0 - внутрипоровое давление флюидов; 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 локального 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.

p^* определяют в лабораторных или полевых условиях локальным гидроразрывом толстостенных образцов цилиндрической или неправильной формы. Значение указанного параметра для образцов скальных пород при безраспорном способе герметизации пробуренных в них нагнетательных шпуров изменяется в пределах от 10 до 40 МПа, примерно в 2 раза превышая пределы сопротивления испытуемых образцов одноосному растяжению [2, 3]; внутрипоровое давление флюидов в массиве (P_0) измеряют экспериментально или ориентировочно принимают равным гидростатическому на данной глубине от земной поверхности; коэффициент трещинно-поровой структуры (m) определяют экспериментально с использованием геофизических методов и дефектоскопии. Для большинства скальных пород его величина колеблется в пределах 0,15-0,3 [3]; 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 [3]:

$$\Psi = 1 - P_k^* / P_2^* . \quad (2)$$

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 (рис. 2)

$$\sigma_3 \cong P_{cm} . \quad (3)$$

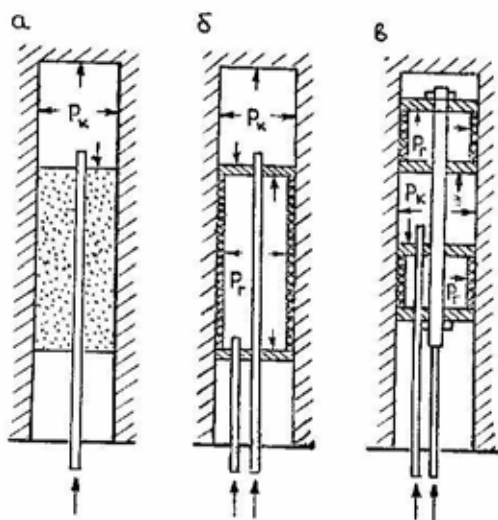


Рис. 1- Схемы локального гидравлического разрыва в измерительных скважинах при различной герметизации нагнетательных камер: а – герметизирующим составом; б – распорным однопакерным герметизатором; в – распорным двухпакерным герметизатором.

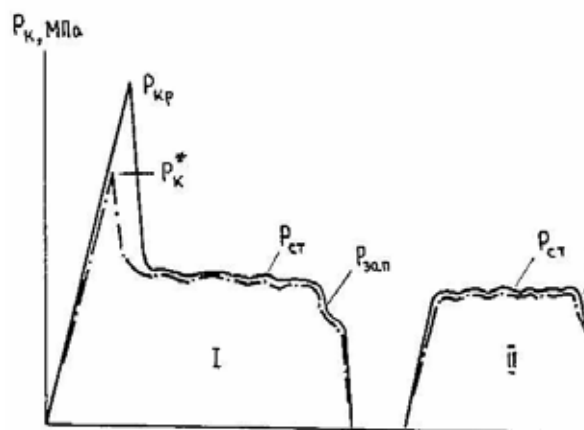


Рис. 2- Изменение давления рабочей жидкости в нагнетательной камере при гидравлическом разрыве: I, II – первоначальный и повторный циклы нагнетания; сплошная линия – при безраспорной герметизации камеры; пунктир – при герметизации распорным герметизатором.

Направление главных компонент поля напряжений определяют по пространственной ориентации плоскости гидроразрыва в измерительных скважинах, используя оптические устройства или импрессионные пакеры. Для определения главных компонент тензора напряжений в массиве горных пород необходимо наличие не менее двух взаимно ортогональных измерительных скважин, одна из которых вертикальная, а вторую бурят с учетом пространственной ориентации плоскости гидроразрыва, образованной в первой измерительной скважине.

Бурение измерительных скважин осуществляют серийно выпускаемыми станками вращательного действия (ЗИФ, НКР-100, БГА-2, ЭБГП-1М и др.).

В зависимости от крепости пород используют алмазные или твердосплавные коронки диаметром 45-76 мм. Для извлечения кернового материала применяют стальные колонковые трубы длиной 1-2 м, соединенные со стандартными буровыми штангами при помощи переходников.

До настоящего времени оборудование, специально предназначенное для шахтных измерений поля напряжений гидравлическим разрывом, промышленностью серийно не выпускается.

В ИГТМ НАН Украины разработан и практически используется в шахтах Донецко-Макеевского и Центрального районов Донбасса комплект основного оборудования и приборов для экспериментального определения величины и пространственной ориентации главных напряжений в углепородных массивах шахт методом ЛГР [4]. Он включает высоконапорный гидравлический насос, распорные резиновые герметизаторы, запорно-разводящую аппаратуру, нагнетательные трубопроводы, образцовые манометры, оптические устройства для

определения пространственной ориентации плоскости гидроразрыва в измерительных скважинах.

Существенным недостатком в использовании этого комплекта являлось применение высоконапорного гидравлического ручного насоса, хотя и обеспечивающего достаточно высокое давление нагнетательной рабочей жидкости (до 80 МПа), но имеющего весьма низкую производительность (не более 2 см³/сек). Поэтому совместно с механической службой шахты им. А.Ф.Засядько были выполнены необходимые работы для возможности использования шахтной высокопроизводительной насосной установки СНТ-32, позволяющей кратковременно создавать избыточное давление рабочей жидкости в нагнетательных камерах до 45 МПа. Это обеспечивало локальный гидроразрыв стенок нагнетательных камер и дальнейшее подращивание трещин внутреннего давления в массиве за пределами влияния контуров измерительных скважин. Для герметизации нагнетательных камер использовали распорный герметизатор фирмы SCHMJDТ KRAHZ (Германия) с подводящим гидравлическим трубопроводом из высоконапорных гибких шлангов и металлических труб высокого давления. Рациональный темп нагнетания рабочей жидкости (1-2 МПа/с) и сброс ее после локальных гидроразрывов обеспечивали применением дроссельных устройств с шаровыми кранами. Процесс нарастания давления рабочей жидкости и его экстремальные значения контролировали по показаниям образцового манометра с пределом измерения до 60 МПа.

Оценку напряженного состояния углепородного массива пласта l_1 на западном его крыле выполняли в соответствии с «Проектом определения главных составляющих поля напряжений и направления их действия в углепородном массиве шахты им. А.Ф.Засядько методом локального гидроразрыва» [6], разработанным ИГТМ НАН Украины, согласованным с соответствующими технической и геологической службами шахты и утвержденным ее руководством. Проектом предусматривалось бурение в боковых породах, вмещающих газоносный пласт l_1 , 2-х разведочных керновых и 15 измерительных скважин (диаметрами соответственно 76 и 46 мм), 5 из которых вертикальные, расположенные в песчанике в кровле пласта l_1 , и 10 наклонных в его почве (алевролите) по падению и восстанию пород. Для бурения скважин использовали бурильный станок ЭБП-1М, алмазные и твердосплавные коронки соответствующих диаметров.

Из-за технической сложности бурения нисходящих скважин по алевролиту приняли решение ограничиться 10 восстающими измерительными скважинами, расположенными в кровле и почве пласта l_1 . В процессе бурения скважин и по лабораторным испытаниям извлеченных кернов определены параметры буримости и прочностных свойств боковых пород, вмещающих пласт l_1 : буримость по алевролиту $t_6 = 5-6$ м/мин, по песчанику $t_6 = 6-8$ м/мин, сопротивление гидроразрыву ($p^* = 18,0-22,0$ МПа), пределы прочности пород на сжатие и растяжение соответственно ($\sigma_{сж} = 80-120$ МПа, $\sigma_p = 8-10$ МПа).

Перед началом локальных гидроразрывов в измерительных и разведочных скважинах осуществлены инструментальные исследования трещиноватости их

стенок с использованием оптического устройства РВП-456, скважинного электромагнитного прибора КИТ-3 и аппаратуры электрометрического профилирования. При выборе места заложения измерительных скважин были учтены геотектонические особенности углепородного массива и гипсометрия пласта l_1 .

Обследование нагнетательных скважин по определению степени трещиноватости, структурных особенностей строения вмещающих пород, степени обводненности и направленности скважин относительно элементов напластования осуществлялось сотрудниками ИГТМ НАН Украины совместно с геологической службой шахты.

Результаты инструментальных исследований показали, что в породах кровли и почвы угольного пласта l_1 (ПК 53-54) имеются разнонаправленные эндогенные трещины, часть из которых ориентирована в субпараллельном направлении 10-го западного конвейерного штрека. Стенки измерительных скважин увлажнены. В некоторых интервалах по длине измерительных скважин трещиноватость вмещающих пород до гидравлического воздействия практически отсутствовала.

В четырех нагнетательных скважинах выполнен гидроразрывной каротаж (в 12 промежуточных интервалах) и по измеренным силовым параметрам локальных гидроразрывов и пространственной ориентации образовавшихся трещин внутреннего давления, по зависимостям (1-3) определены численные значения и направление главных напряжений [5, 6].

Результаты измерений методом ЛГР показали, что в исследуемом участке углепородного массива (ПК 53-54) поле действующих напряжений разнокомпонентно. Большой по величине (48-52 МПа) является одна из горизонтальных составляющих поля напряжений, ориентированная субмеридиально (азимут направления $180-190^{\circ}$) с отклонением от истинного меридиана до 10° в юго-западном направлении. Вторая главная горизонтальная компонента направлена субширотно и изменяется в пределах от 20 до 25 МПа. Вертикальная составляющая поля напряжений по величине примерно соответствует давлению вышележащих пород (26-28 МПа) и ориентирована субвертикально относительно земной поверхности с отклонением от вертикали не более 20° .

С целью определения траектории распространения трещин внутреннего давления после ЛГР и стабилизации давления рабочей жидкости, продолжали процесс ее нагнетания в скважину в течение 3-10 минут до появления истечения в смежные скважины или выработки.

Анализ полученных результатов показал, что первоначальные трещины ЛГР направлены, как правило, по образующей нагнетательных скважин и ориентированы в направлении большей боковой составляющей действующего поля напряжений. После стабилизации давления рабочей жидкости и продолжения процесса нагнетания возможны изменения траектории распространения трещин и давления рабочей жидкости, что связано с наличием в углепородном массиве природных экзогенных и образовавшихся техногенных трещин, близко расположенных соседних скважин, пустот, а также контуров горных выработок.

Для оценки изменения напряженно-деформированного состояния углепородного массива в процессе ведения технологических работ по интенсифика-

ции газоотдачи угольного пласта l_1 использовали экспериментальный метод буровых скважин. Для этого в двух восстающих измерительных скважинах (диаметром 46 мм, длиной по 10 м), пробуренных по угольному пласту l_1 (ПК 42 + 5 м) и в породе почвы (ПК 54) установили по два многокомпонентных деформометра (конструкции ИГТМ НАН Украины) на расстояниях 3 и 9,5 м от контура 10-го западного конвейерного штрека пласта l_1 . Эти деформометры позволили определить изменения начальных диаметров скважин в трех направлениях: параллельно, ортогонально и под углом 45^0 к напластованию пород. Анализ результатов измерения показал, что установленные деформометры весьма чувствительны к перераспределению исходных напряжений в связи с геомеханическими процессами, происходящими в углепородном массиве, в том числе с влиянием процесса его гидрообработки.

Использование электрометрического метода позволило оценить геомеханическое состояние углепородного массива по интенсивности трещинообразования и определить рациональное расстояние между дегазационными скважинами, которое в исследуемых условиях составило 18-25 м.

Таким образом, в результате выполненного комплекса экспериментальных исследований получены исходные данные о напряженно-деформированном состоянии углепородного массива и его физико-механических свойствах в зоне дегазации газоносного пласта l_1 , определены численные значения и пространственная ориентация главных составляющих поля напряжений, оценена степень трещиноватости углепородного массива и изменение его напряженно-деформированного состояния при гидравлической обработке.

Учитывая сложные геотектонические условия обрабатываемых угольных пластов глубоких горизонтов шахты им. А.Ф.Засядько целесообразно продолжить комплексные экспериментальные исследования по оценке геомеханического состояния углепородных массивов западного и восточного крыльев угольных пластов l_1 и m_3 с учетом их газоносности, типов складчатости и нарушенности вмещающих боковых пород.

Данные об основных параметрах углепородных массивов шахты им. А.Ф.Засядько могут быть использованы в качестве исходных для обоснования и разработки ряда рациональных технических решений: управления геомеханическим состоянием углепородных массивов, повышения устойчивости горных выработок, дегазационных и других технических мероприятий по повышению безопасности и эффективности ведения горных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Кулинич В.С., Шевелев Г.А. Использование гидравлического разрыва для измерения напряжений в массиве горных пород // Уголь Украины. - 1986. - № 3. - С. 11-13.
3. Кулинич В.С., Шевелев Г.А., Егоров С.И. Методы и средства определения параметров геомеханического состояния газоносного породного массива. - Донецк. ЦБНТИ, 1994. - 202 с.
4. Кулинич В.С. Оборудование и аппаратура для измерения напряжений в массиве горных пород способом гидравлического разрыва // Уголь. - 1988. - № 10. - С. 32-33.
5. Кулинич В.С. Методические указания по определению напряжений в массиве горных пород методом локального гидравлического разрыва. - Днепропетровск, ИГТМ АН УССР. -1989.-34 с.

6. Проект определения главных составляющих поля напряжений и направления их действия в углеродном массиве участка № 10 шахты им. А.Ф.Засядько методом локального гидроразрыва. – Днепропетровск, ИГТМ НАН Украины. – 2002. – 12 с.

УДК 622.02:622.273.217.2

Л.Д. Шматовский, Е.Г. Гирич, И.И. Пожитько,
В.В. Апрельский

ОПЫТ ПОДГОТОВКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ УГ- ЛЕПОРОДНОГО МАССИВА ПЛАСТА l_1

Обґрунтована доцільність використання серійно випускаемого промисловістю гідравлічного устаткування: установки високого тиску СНТ-32 і розпірних герметизаторів для оцінки напруженого стану вуглепородного масиву методом локального гідравлічного розриву.

THE EXPERIENCE OF PREPARATION AND EMPLOUMENT OF HY- DRAULIC EQUIPMENT FOR ESTIMATION OF THE STRESSED AND DE- FORMATED STATE OF THE ROCK MASS SEAM l_1

Is grounded the expedience of employment hydraulic equipment, produced by industry: the installation of heavy pressure “SNT-32” and spacing airproofers for estimation of stressed state of rock mass by method of locally hydraulic break.

Дальнейшее развитие подземной угледобычи неразрывно связано с непрерывным увеличением глубин разработки, что сопряжено с негативными изменениями горно-геологических условий. С переходом подземных горных работ на большие глубины (600 м и более) существенно увеличилось горное давление, газоносность, частота возникновения и интенсивность газодинамических явлений.

Особенно сложным является ведение горных работ в глубоких шахтах Донецкого бассейна, где максимально достигнутая глубина уже превысила 1200 м. К таким шахтам относится и шахта им. А.Ф.Засядько.

К наиболее важным и сложным задачам при подготовке и эксплуатации глубоких горизонтов в таких условиях относятся проведение и поддержание подготовительных горных выработок в напряженном газонасыщенном массиве.

Вышеизложенное обуславливает необходимость разработки научно-обоснованных и экономически выгодных технических решений, основанных на достоверной информации о параметрах геомеханического состояния массива горных пород в конкретных горно-геологических условиях.

Геомеханическое состояние газоносных горных пород в основном обуславливается напряженно-деформированным состоянием, коллекторскими и механическими свойствами среды. Основным фактором при этом является начальное (естественное) напряженное состояние вмещающих пород, которое характеризуется численными значениями и пространственной ориентацией главных составляющих действующего поля напряжений.

В настоящее время существует целый ряд [1] экспериментальных методов оценки напряженного состояния горных пород. Одним из самых перспектив-