

### **ГОРНАЯ АЭРОГАЗОДИНАМИКА – ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ НАУКА**

Перераховано основні наукові і практичні результати фундаментальних і прикладних досліджень, виконаних в останні роки у відділі гірської аерогазодинаміки. Показано актуальність робіт і їхня практична цінність.

### **MOUNTAIN AEROGASODINAMIKA - FUNDAMENTAL SCIENCE**

The basic scientific and practical results of fundamental and applied researches executed per last years in department mountain aerogasodinamika are listed. The urgency of works and their practical value is shown.

Метан, насыщающий угленосные толщи, всегда представлял и представляет потенциальную опасность для человека: возгоранием, взрывом метановоздушной смеси, загазированием выработок, различными газодинамическими проявлениями: суфлярами, внезапными прорывами газа, выбросами, образованием “мертвого” воздуха, вытесняя кислород, и прочее. По этим же причинам метан является сдерживающим фактором роста угледобычи в шахтах.

Для обеспечения безопасной концентрации метана в атмосфере шахты 1 % требуется стократное превышение подачи свежего воздуха для его статического разжижения. Если учесть, что природная газоносность угольных пластов может превышать 25 м<sup>3</sup>/т, а относительная газообильность выработок – 100 м<sup>3</sup>/т сут.доб., количество воздуха, подаваемого в шахты, зачастую превышает по массе количество добываемого угля. Отсюда колоссальные затраты электроэнергии для работы вентиляторов главного проветривания, производительность которых ежеминутно составляет примерно 10 тыс. м<sup>3</sup>, на что порой требуется до 20 % затрат электроэнергии шахты.

Кроме того, метан, размер молекул которого не превышает нескольких Ангстрем, изменяет физико-механические свойства и напряженно-деформированное состояние горных пород, в которых он находится. В трещинно-поровой структуре коллектора метан сам может находиться в различных агрегатных состояниях: свободном, сорбированном, кристаллогидратном.

Все страны с развитой горнодобывающей промышленностью вынуждены заниматься проблемой борьбы с метаном. В СССР и СНГ – это горные ВУЗы, многие академические и отраслевые институты, в том числе отдел горной аэрогазодинамики ИГТМ НАН Украины.

У истоков нашего отдела стоял его основатель, чл.-корр. Абрамов Ф.А., бесценно руководивший им 20 лет. Надеюсь, мы сохраним лицо отдела и имя его основателя.

В последние годы поставлена задача добычи метана из угленосной толщи Донбасса. Запасы его соизмеримы с газовыми месторождениями. Но здесь свои проблемы. Пористость нефтегазоносных песчаников около 30 %, а углей и пород – не более 3-10 %. Но самое главное - низкая проницаемость. Если в цифрах, то это 10<sup>-15-22</sup> м<sup>2</sup>. 1 миллиард = 10<sup>-65</sup> м<sup>2</sup>. Поэтому извлечь метан из нетро-

нутой углепородной толщи чрезвычайно сложно, подобно тому, как добывать золото из мирового океана.

В данной статье представлены отдельные результаты, полученные нами и изложенные в монографиях [1-6].

Изучены коллекторские свойства выбросоопасных песчаников: газоносность, сорбционная емкость, удельная поверхность, дифференциальная пористость, проницаемость.

Определены абсолютные размеры площади поперечного сечения единичных поровых каналов песчаника, их пределы и характер распределения в естественной среде. Количество микропор радиусом  $30-100 \text{ \AA}$  составляет в среднем 16 % общего объема пор; переходных пор ( $100-1000 \text{ \AA}$ )- 35 %; субмакропор ( $0,1-1 \mu$ ) – 43 %; макропор ( $1-3 \mu$ ) – 6 %.

Впервые установлена внутренняя удельная поверхность выбросоопасных песчаников. Она составляет в среднем  $1,5 \text{ м}^2/\text{г}$ , в отдельных случаях достигает  $5-7 \text{ м}^2/\text{г}$ . Эти значения на два порядка ниже удельной поверхности угля. В алевролите данный параметр равен  $0,3 \text{ м}^2/\text{г}$ .

Исследованы изотермы сорбции песчаников и установлена количественная связь между их природной газоносностью и сорбционной емкостью. В условиях больших глубин объем сорбированного газа в песчанике находится в пределах  $0,1-0,6 \text{ см}^3/\text{г}$ . Полученные данные полностью согласуются с результатами определения дифференциальной пористости и внутренней удельной поверхности.

Разработан метод и определена проницаемость нетронутого массива выбросоопасных песчаников. На базе натурных исследований показано, что проницаемость песчаника  $h_4'Sh_7$ , залегающего в пределах поля шахты "Петровская-Глубокая", составляет  $10^{-7}-10^{-8}$  мД, а в условиях шахты им. К.И.Поченкова (песчаник  $m_2Sm_3$ ) равна  $10^{-5}-10^{-6}$  мД.

Определены качественные и количественные зависимости проницаемости от напряженно-деформированного состояния пород, их реологических свойств, влажности, градиента давления.

Максимально измеренное значение давления газа составило 103 атм. Разработан и апробирован в натурных условиях метод его определения по начальному участку кривой нарастания давления газа в скважине.

Установлены параметры природной скорости фильтрации газа при наличии стока. На поверхности обнажения песчаника  $h_4'Sh_7$  скорость фильтрации метана в период относительной стабилизации находится в пределах  $0,1-1,5$  мм/час, а песчаника  $m_2Sm_3$  достигает 50 мм/час. В глубине массива при радиально-сферической схеме течения на расстоянии всего 30 см от обнаженной поверхности скорость фильтрации снижается на два порядка.

Изучены пределы и характер изменения газоносности по длине выработок. Установлено, что в выбросоопасных зонах она составляет  $6,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$  при осредненном отклонении -  $1 \text{ м}^3/\text{м}^3$ , а в невыбросоопасных зонах соответственно  $1,7 \pm 1 \text{ м}^3/\text{м}^3$ .

Полученные результаты явились критерием оценки выбросоопасной среды и послужили базой для изучения физической природы и разработки основ теории выбросов песчаника с учетом газодинамического фактора, а также при расчете параметров методов борьбы с выбросами.

Изучена физическая природа и разработаны основы теории выбросов песчаника с учетом газодинамического фактора.

Разработаны методы и созданы стенды для исследования влияния газонасыщенности песчаника на изменение его свойств и напряженно-деформированного состояния.

Инструментально доказано, что в результате насыщения песчаника газом его упругие свойства снижаются пропорционально степени газонасыщенности.

Изучен характер и определены количественные зависимости изменения деформационных параметров газонасыщенных образцов песчаника. Определены компоненты линейных деформаций, вызванные действием внешней нагрузки, сорбционным понижением прочности и в результате насыщения пористой среды инертным газом.

Изучалось влияние насыщения (дегазации) песчаника на изменение его напряженного состояния. Показано, что в газовой среде напряжения в песчанике возрастают, причем газ оказывает как механическое, так и физическое воздействие на среду. Параметры ее изменения во времени зависят от состава газа, градиента давления по времени и пространству, скорости насыщения (дегазации).

Разработана физическая модель разрушения газонасыщенного песчаника выбросом. Установлено, что газодинамически зона разрушения представляет собой замкнутую систему.

Определена потенциальная энергия и количественные соотношения фактической величины работы газа в период разрушения песчаника выбросом при различных параметрах: скорости разрушения, дегазации, давления газа и величины раскрытия трещин.

Выбросы угля, породы и газа представляют собой сложное природное явление, возникающее в шахтах в результате нарушения горными работами равновесного состояния напряженного газонасыщенного массива.

На современных глубинах добычи угля в Донбассе (800-1200 м) давление метана в угольных пластах и газоносных песчаниках достигает 10- 12 МПа, а величина напряжений -35-50 МПа. Многие угольные пласты и горные породы способны в таких условиях хрупко разрушаться. При возникновении выбросов разрушение приобретает самоподдерживающийся характер и за короткий промежуток времени, измеряемый секундами или десятками секунд, распространяется на несколько метров вглубь массива. Уголь (или порода) в зоне разрушения дробится под действием горного и газового давлений до мелкого фракционного состава, средневзвешенная толщина частиц составляет 1-3 мм. Масса выбросов может быть различной: от нескольких десятков до тысяч тонн. Вся раздробленная горная масса выносится в выработку потоком расширяющегося газа, вызывая, в свою очередь, разрушение крепления выра-

боток, технологического оборудования и нарушение проветривания. Энергия, которая реализуется в процессе выброса в работу разрушения и отброса, составляет сотни килоджоулей на каждую тонну раздробленной горной массы. На ликвидацию последствий выбросов затрачиваются значительные средства и время.

Решение этой научно-технической проблемы имеет огромное экономическое и социальное значение для горной промышленности. Актуальность ее и сложность решения постоянно возрастают из-за увеличения глубины разработки полезных ископаемых, усложнения горно-геологических условий, концентрации и интенсификации горных работ. Подобное положение характерно для всех месторождений, в которых ведется отработка выбросоопасных пластов.

В основу данной работы, выполненной в отделе горной аэрогазодинамики Института геотехнической механики (ИГТМ) НАН Украины, положены современные представления о природе и механизме выбросов и способах борьбы с ними.

Изучены изменчивость свойств, состояния среды и поведение массива при различных граничных условиях, в том числе при его разрушении; роль и формы взаимодействия основных природных сил при совершении работы разрушения и отброса среды при выбросах; особенности разрушения напряженных газонасыщенных сред с фильтрационно взаимосвязанными дефектами и условия, обеспечивающие самоподдерживающийся характер подобного разрушения; условия формирования и распространения по выработкам двухфазного и газового потоков выбросов, их возмущающее воздействие на преграды и вентиляционную сеть шахт; причины затухания выбросов и факторы, ответственные за конечный характер этого процесса.

Установлены закономерности процесса разрушения горных пород внутрискважинной гидростатической нагрузкой, заключающиеся во взаимосвязи силовых и пространственных характеристик гидравлического разрыва с природными и технологическими факторами: напряженно-деформированным состоянием, прочностными и коллекторскими свойствами разрушаемой среды; ориентацией нагнетательных скважин относительно главных составляющих внешнего поля напряжений; геометрическими параметрами нагнетательных камер и способами их герметизации; фильтрационными свойствами рабочей жидкости и темпом ее нагнетания.

Разработан расчетный аппарат метода определения напряжений в массиве горных пород по параметрам локального гидравлического разрыва, включающий зависимости для расчета: критической величины эффективного гидростатического давления в момент начального трещинообразования; коэффициента взаимодействия распорного и гидравлического силовых полей в нагнетательной камере; меньшей и большей составляющих поля напряжений в плоскости, ортогональной продольной оси измерительной скважины.

Разработаны научные основы, средства и технология определения методом локального гидроразрыва численных значений и пространственной ориентации

главных составляющих поля напряжений в породном массиве. Созданы усовершенствованные и принципиально новые распорные герметизирующие устройства, отличающиеся от известных повышенными прочностными свойствами и технологической надежностью в практическом использовании.

Разработаны способы оценки напряженного состояния массива горных пород по параметрам локального гидравлического разрыва, отличающиеся от известных повышенной информативностью и точностью определений численных значений и пространственной ориентации главных составляющих поля напряжений за счет использования созданных технических средств и рациональной технологии выполнения натурных исследований.

Натурными исследованиями с использованием разработанных способов, средств и технологии локального гидроразрыва определены в 10 угольных шахтах Донбасса и 2 бокситовых рудниках северного Урала на глубинах разработки 500-1200 м численные значения, пределы изменения и пространственная ориентация главных напряжений: вертикальная компонента в преобладающем числе определений (65 %) близка к соответствующему геостатическому давлению вышележащих пород; максимальной (1,5-2,2)  $\mu H$  является одна из главных горизонтальных составляющих, тогда как другая меньше гравитационного уровня на 20-50 %. Азимутально направление большей составляющей поля напряжений различно и изменяется от субширотного до субмеридианного.

Таким образом, круг задач и глубина их проработки весьма широк. Объектом исследований являются природные среды: трещиновато-пористый, слоистый горный массив и насыщающие его флюиды, которые оказывают взаимное и неравнозначное влияние и, безусловно, вентиляционная сеть шахт, которая воспринимает все последствия технологического воздействия на массив, при этом призвана обеспечить безопасные условия.

Изложенное позволяет утверждать, что горная аэрогазодинамика – фундаментальная наука.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов Ф.А., Шевелев Г.А. Свойства выбросоопасных песчаников как породы-коллектора. - Киев: Наук. думка. – 1972. – 98 с.
2. Абрамов Ф.А., Грецингер Б.Е., Соболевский В.В., Шевелев Г.А. Аэродинамика выемочного участка. - Киев: Наук. думка. – 1972. – 236 с.
3. Абрамов Ф.А., Грецингер Б.Е., Шевелев Г.А., Соболевский В.В. Методы и средства управления газовыделением на выемочных участках шахт в период нестационарных процессов. - Киев: Наук. думка. – 1973. – 130 с.
4. Абрамов Ф.А., Олейник В.А., Репка В.В., Шевелев Г.А. Физико-химический способ предотвращения газодинамических явлений в угольных шахтах - Киев: Наук. думка. – 1982. – 108 с.
5. Шевелев Г.А. Динамика выбросов угля, породы и газа. – Киев: Наук. думка. – 1989. – 169 с.
6. Кулинич В.С., Шевелев Г.А., Егоров С.И. Методы и средства определения параметров геомеханического состояния газоносного углепородного массива. – Донецк: ЦБНТИ Угольной промышленности, 1994. – 202 с.