

Г.А. Шевелев, В.Г. Перепелица, В.В. Лукинов

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ГЕОМЕХАНИКИ ГАЗОНАСЫЩЕННОЙ УГЛЕННОЙ ТОЛЩИ

Наведено результати комплексних досліджень геомеханічного та газодинамічного стану вуглепородного масиву, виявлено закономірності зміни параметрів, які досліджуються. Отримані результати склали основу теорії геомеханіки газонасиченої вугленосної товщі.

Представлены результаты комплексных исследований геомеханического и газодинамического состояния углепородного массива, выявлены закономерности изменения исследуемых параметров, составившие основу теории геомеханики газонасыщенной угленосной толщи.

The authors demonstrate results of combined researches of geomechanical and gas-dynamic states of the coal massive and regularities of parameter changes that underlie the theory of geomechanics for the gas-saturated coal-bearing thicknesses.

Донецкий угольный бассейн является одним из крупнейших месторождений полезных ископаемых не только в нашей стране, но и во всем мире. Разведанные запасы угля составляют 56,7 млрд тонн, которых хватит на сотни лет добычи. Средняя глубина разработки сегодня приближается к отметке 1000 м.

Донбасс это не только уголь, но и мощный коллектор природного газа – метана. Его запасы по оценкам различных исследований колеблются от 12 до 25 трлн м³.

Метан в угольных шахтах, в отличие от газовых месторождений, в большинстве случаев находится в сорбированном состоянии в поровой структуре угля и выделяется в атмосферу горных выработок при добыче угля. На проветривание затрачивается до 50% всей энергетической мощности шахт, поскольку удельный объем подаваемого в шахту воздуха превышает по массе количество добываемого угля. Кроме того, метан представляет собой угрозу из-за опасности взрывов и выбросов угля или породы.

В горной геомеханике сформировались и доминируют три основных направления исследований: геомеханика, аэрогазодинамика и геология угольных месторождений. На этой базе получены фундаментальные результаты, которые способствовали получению значительных теоретических и практических результатов. При этом каждое из названных направлений развивалось как самостоятельная область, нередко изолированно друг от друга. В подобном подходе кроются как положительные, так и отрицательные факторы.

Угольные пласты и вмещающие их горные породы – разнородные среды по своим свойствам и практическому назначению. Угольные пласты изучаются как полезное ископаемое, а вмещающие породы – как среда, которая должна обеспечивать устойчивость горных выработок.

Между тем углепородный массив – это континуум, единая многофазная, гетерогенная среда, которая состоит из множества слоев, отличающихся веществом составом и численными параметрами своих

свойств. Флюиды, насыщающие пористые среды, влияют на свойства и состояние среды, а напряженное состояние изменяет коллекторские свойства. То есть происходит взаимное влияние между ними. Поэтому изучение свойств и состояния угленосной толщи должно вестись комплексно с позиций геомеханики газонасыщенной среды с учетом геологических факторов.

Следовательно, назрела необходимость создания единой теории напряженной, газонасыщенной угленосной толщи. В основу исследований положены данные, полученные авторами в течение последних 30 лет, дополненные результатами других ученых.

Наиболее стабильными во времени являются геологические факторы, которые определяют вещественный состав среды и каждого из ее слоев. В пространстве они могут быть существенно различны, имея локальные и региональные особенности. Напряженно-деформированное состояние, физико-механические свойства и газонасыщенность (природная газонасыщенность и давление метана) в нетронутом массиве также относительно стабильны, но в зоне влияния горных работ они существенно отличны в зависимости от вида и характера технологических воздействий.

Сложные горно-геологические условия разработки угольных пластов в бассейне связаны с небольшой мощностью угольных пластов, развитием мелких и крупных размывов, тектонической нарушенностью. Освоение глубоких горизонтов в основных геолого-промышленных районах складчатого Донбасса осложнено повышенным горным давлением, газонасыщенностью, проявлением внезапных выбросов угля, пород и газа, суфлярами метана, усложнением геотермических условий [1]. Более 25% действующих шахт относятся к сверхкатегорийным по метану (метанообильность более 15 м³ на тонну суточной добычи угля). Число негазовых шахт, в основном добывающих негазонасыщенные антрациты (Должанско-Ровенецкий, Шахтинско-Несветаевский районы), составляет 12%. Температура пород в забоях шахт на глубинах 700-900 м нередко

превышает + 25 °С. Геотермический градиент увеличивается от периферии к центру бассейна и с запада на восток, в соответствии с усложнением тектонической дислоцированности пород, от 2,5 до 4,2 °С на 100 м.

Гидрогеологические условия для открытой и закрытой частей бассейна характеризуются различной степенью сложности. В большинстве шахт водопритоки составляют 50-100 м³/ч, реже 100-250 м³/ч, в единичных случаях более 250 м³/ч; имели место кратковременные прорывы вод с дебитами 300-500 м³/ч и более. С глубиной наблюдается уменьшение водопритоков до 15-25 м³/ч. В закрытых западных и северных районах гидрогеологические условия вскрытия и отработки углей осложнены повышенной водообильностью перекрывающих карбон отложений мезо-кайнозойского возраста, за счет которых возрастают притоки воды в шахты.

В настоящее время в составе газов угольных месторождений Донбасса обнаружено 16 компонентов. Среди основных, среднее содержание которых свыше 1%, выделяются: метан, этан, азот, углекислый газ. Подчиненное положение (микропримеси, количество которых в газовой смеси меньше 1%) занимают пропан, бутан, пентан, водород, сероводород, аргон, криптон, ксенон, гелий, неон, кислород, окись углерода.

Большинством исследователей признается и, в общем, не вызывает сомнений положение, что основная масса метана образовалась в процессе метаморфизма органических веществ угольных пластов и горных пород. Однако единого мнения по поводу масштабов метанообразования при переходе углей от одной степени метаморфизма к другой нет. Согласно данным Г.Д. Лидина [2], при образовании 1 т антрацита из углей марки Д выделилось около 200 м³ метана; по данным В.А. Успенского [3] – 150 м³. В.П. Козлов и Л.Б. Токарев [4] определили, что объем выделившегося метана, в этом случае, равен 251 м³ на 1 т антрацита.

В работе [5] показана четкая зависимость изменения основных газовых компонент – метана, азота и углекислого газа – от глубины залегания угольных пластов. Следует отметить, что столь четко выраженная газовая зональность в угольных пластах является результатом не только встречных потоков метаморфогенных газов и газов атмосферы. По нашему мнению, она обусловлена также физико-химическими особенностями строения угольного вещества (природный сорбент метана) и его низкими фильтрационными свойствами. Доказательством этого являются менее выраженная газовая зональность в горных породах и несовпадение газовых зон угольных пластов и вмещающих их отложений.

Несмотря на сходство по составу газов угольных пластов и горных пород, характер их распределения существенно различается и зависит от геологических условий и факторов.

По характеру влияния на газоносность угленосных толщ основные геологические факторы подразделяются следующим образом: 1) факторы образования и захоронения газов; 2) факторы накопления и

сохранения газов; 3) факторы дегазации угленосных отложений. Но очевидно, что на все эти факторы прямо или косвенно влияли тектонические процессы, происходившие в регионе на различных этапах его развития.

Многолетние исследования газоносности угленосных отложений Донбасса позволили выявить и изучить, главным образом, региональные и, частично, локальные изменения газовых характеристик угольных пластов. Установлено [6-9], что газ в угольных пластах и породах находится в свободном, водорастворенном и сорбированном состояниях; содержание свободного газа зависит от пористости, трещиноватости горных пород и углей, термодинамических условий их залегания.

К региональным факторам относятся глубина залегания угольных пластов и степень метаморфизма; к локальным – степень и тип тектонической нарушенности, литолого-фациальные характеристики пород.

В работах [5, 8, 10] показано влияние палеонапряжений на газоносность угленосной толщи: нарушения, образованные в условиях растяжения (сбросы), проницаемы и способствуют дегазации угленосных отложений, а в зонах сжатия – надвиги – газонепроницаемы и способствуют накоплению и сохранению газов в прилегающих зонах. По данным А.М. Брижанева [6] на газоносность влияют параметры и время образования нарушений: постседиментационные сбросы являются проницаемыми, конседиментационные – непроницаемыми; надвиги характеризуются изменчивой проницаемостью, которая зависит от литологии вмещающих пород.

Таким образом, общепризнанно, что природная газоносность массива в региональном плане зависит от степени катагенетических преобразований, которая обуславливает закономерности ее распределения; в локальном – от литолого-фациальных условий, типов, параметров, времени и условий образования разрывных нарушений и локальной складчатости.

Теоретически и экспериментально доказано, что напряженно-деформированное состояние угленосной толщи неравнозначно по всем трем составляющим главных компонент поля напряжений. Вертикальная составляющая равна γH (вес вышележащей толщи). Одна из горизонтальных составляющих подчиняется гипотезе проф. А.Н. Динника: $\lambda \gamma H$, где $\lambda < 1$ – коэффициент бокового отпора. Другая составляющая может в 1,5-2 раза превышать γH . Причем ориентация этой составляющей в различных регионах различна: может совпадать с меридиональным направлением или быть ортогональной. Это связано с тектоникой и неотектоникой регионов. В каждом конкретном случае ее необходимо определять.

В 1958 г. шведский геомеханик Н. Хаст впервые измерил численно неравные между собой горизонтальные напряжения, одно из которых превышало вертикальную гравитационную составляющую действующего поля напряжений. На базе обобщения результатов экспериментальных исследований, выполненных практически во всех геологических регионах Земли, был подтвержден

разнокомпонентный характер распределения главных напряжений в горных породах, сформулирована и получила признание геодинамическая модель напряженного состояния верхних слоев земной коры, в которой наряду с доказательством разнокомпонентности действующих полей напряжений не исключалось существование равнокомпонентного или близкого к нему напряженного состояния массива.

Численные значения вертикальной компоненты σ_z в большинстве определений (около 85%) близки к гравитационному уровню. Большой, как правило, является одна из горизонтальных составляющих, в 1,5-2,0 раза превышающая σ_z . Другая меньше вертикальной компоненты и равна 50-90% ее величины. Из рис. 1 видно, что изменение численных значений главных составляющих тензора напряжений удовлетворительно (относительная погрешность не превышает 25%) аппроксимируется линейными зависимостями.

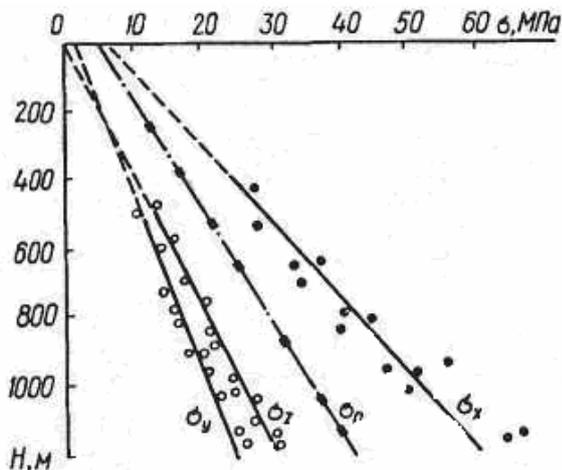


Рис. 1. Результаты натурных исследований изменения главных компонент поля напряжений с глубиной

Анализ результатов оценки пространственной ориентации главных составляющих поля напряжений свидетельствует, что в большинстве случаев направление вертикальной компоненты σ_z субортогонально земной поверхности (отклонения не превышают 15°), а траектории действия главных горизонтальных составляющих непостоянны, изменяются от широтных до меридианных направлений. Сопоставление пространственной ориентации больших составляющих поля напряжений с простираем крупных геологических нарушений показало, что в ряде регионов их направления могут совпадать, хотя наблюдаются и значительные (до 45°) расхождения.

Отсюда следует, что горизонтальные составляющие действующих полей напряжений не всегда являются производными вертикальной компоненты, а зависят кроме давления вышележащих пород от ряда природных факторов, обусловленных тектоническими, гидрогазодинамическими, термическими и другими силовыми полями. Поэтому понятие “боковой отпор”, как единственная причина возникновения горизонтальных напряжений,

не соответствует физическому смыслу, постулируемому гравитационной гипотезой.

В основу этих исследований положен метод гидроразрыва стенок пробуренных скважин [11]. Существуют и другие способы определения напряжений, но они или более трудоемкие, или менее информативны. О величине двух компонент поля напряжений судят по максимальному (критическому) давлению жидкости в загерметизированной скважине при ее гидроразрыве и стабилизированному уровню при дальнейшем нагнетании жидкости в скважину. Достоинством созданного авторами способа [12] явилось то, что предоставлялась возможность бурить экспериментальные скважины непосредственно из горных выработок шахт в трех взаимно ортогональных плоскостях. Тем самым можно было определить не только все три компоненты поля напряжений, но и визуально оценить пространственную ориентацию трещин гидроразрыва. Полученные экспериментальные данные совпадают и дополняют результаты, полученные зарубежными учеными (см. рис. 1).

В зоне влияния горных работ неуравновешенной и поэтому доминирующей составляющей поля напряжений становится составляющая, направленная в сторону обнаженной поверхности. Этим во многом определяется устойчивость горных выработок, энергоемкость разрушения и потенциальная опасность проявления динамических и газодинамических явлений в шахтах.

На емкостные параметры коллектора (абсолютная пористость, газоносность, давление метана и др.) величина напряжений не оказывает заметного влияния, поскольку деформации незначительные (изменение объема). Но фильтрационные свойства изменяются существенно (на порядок и более). Действие сжатого газа во внутрипоровом пространстве необходимо учитывать при оценке напряженно-деформированного состояния среды и ее физико-механических свойств.

Осредненная величина напряжений близка к гравитационному уровню, а давление метана — к гидростатическому, то есть отличие составляет более двукратной величины. В нетронутом массиве их противодействие не оказывает влияния на величину напряжений, но вблизи обнаженной поверхности они суммируются, поскольку их вектор становится однонаправленным. Этот фактор становится одной из основных причин возникновения газодинамических явлений в шахтах.

Примечательным является сопоставление численных значений потенциальной энергии упругого деформирования и сжатого газа в угленосной толще, а также величина работы, затрачиваемой на разрушение и перемещение горной массы. Как видно по данным табл. 1, энергия упругого деформирования хрупких сред в равнокомпонентном поле напряжений в зависимости от модуля упругости находится в пределах 10-50 кДж/т, в то время как потенциальная энергия сжатого газа, насыщающего угленосную толщу, в зависимости от начального давления и вида термодинамического процесса расширения достигает 1000-4000 кДж/т, то есть на 2 порядка выше.

Энергетические параметры горного массива различных динамических явлений (кДж/т)

Явление	Потенциальная энергия			Работа		
	положения	упругого деформирования	сжатого газа	разрушения среды	перемещения горной массы	газового потока
Выбросы угля	-30-100	10	4000	100	450	150
Выбросы песчаника	-20-70	50	1000	80	450	25
Горные удары	200-500	70	-	30	200	-
Отжим	-	20	-	0,5	5	-
Пучение пород	-5	30	-	0,5	5	-
Стреляние	-	100	-	0,5	50	-
Обрушение	10-100	-	-	5	30	-

Работа, затрачиваемая на разрушение хрупких сред до фракционного состава, который наблюдается при взрывах или выбросах угля и породы, не превышает 100 кДж/т, а работа перемещения разрушенной горной массы оказывается в 5 раз больше. При горных ударах, обрушениях потенциальная энергия массива определяется в основном энергией положения зоны обрушения, поэтому эти динамические явления могут происходить в негазоносных средах, но при этом они не сопровождаются значительным дроблением и переносом горной массы в горизонтальном направлении.

Работа, затрачиваемая на разрушение хрупких сред до фракционного состава, который наблюдается при взрывах или выбросах угля и породы, не превышает 100 кДж/т, а работа перемещения разрушенной горной массы оказывается в 5 раз больше. При горных ударах, обрушениях потенциальная энергия массива определяется в основном энергией положения зоны обрушения, поэтому эти динамические явления могут происходить в негазоносных средах, но при этом они не сопровождаются значительным дроблением и переносом горной массы в горизонтальном направлении.

Отличительная особенность сжатого газа также в том, что он может дренироваться, не совершая работы, а изменяя свою внутреннюю энергию.

Основными видами энергии массива W_m , которые обеспечивают «работу» выброса, являются потенциальная энергия упругого деформирования среды W_y , сжатого газа W_r , насыщающего ее, и энергия положения W_n :

$$W_m = W_y + W_r + W_n.$$

В работу разрушения и перемещения среды реализуется часть потенциальной энергии массива. Чтобы установить эту часть как отношение от целого, потенциальную энергию определяли для условий нетронутого массива. Тогда отношение фактически совершаемой работы L к общим запасам энергии, накопленной в единице объема разрушающейся среды W_i , будет определять коэффициент реализации потенци-

альной энергии напряженного газонасыщенного массива ξ :

$$\xi = L / W_m. \quad (1)$$

Для численных расчетов энергии упругого деформирования W_y поле напряжений в массиве принимали равнокомпонентным. При этом

$$W_y = 1,5\sigma^2(1-2\nu)(1-\delta)/E,$$

где σ – напряжения, испытываемые скелетом среды; δ – коэффициент неупругого сопротивления; ν – коэффициент Пуассона; E – модуль упругости.

Работа газа в зоне разрушения более соответствует условиям изотермического расширения, поскольку накопление метана в растущих трещинах определяется скоростью фильтрационных процессов. Протекание выбросов в атмосфере выработок по условиям теплообмена потока с окружающей средой идентично с позиций термодинамики тем явлениям, которые описаны в аэродинамике как адиабатические процессы, т.е. в зоне разрушения и атмосфере выработок изменение состояния газа может происходить по разным законам, но это не вносит принципиальных отличий.

Потенциальную энергию положения определяли, используя статистические данные о перемещении в вертикальной плоскости центров масс с учетом направления. Основными видами работ являются разрушение L_p , перемещение среды L_{II} и распространение метановоздушной струи L_c по выработкам:

$$L_B = L_p + L_{II} + L_c.$$

Работу разрушения определяли по данным удельной поверхностной энергоемкости разрушения и величины вновь образованной поверхности разрушенной среды. Строгое определение работы сил сопротивления движению разрушенной горной массы по выработкам невозможно из-за сложности процесса перемещения и изменчивости действующих сил. Однако, если работу перемещения приравнять к вели-

чине кинетической энергии, приобретаемой разрушенной средой при ее отрыве с поверхности обнажения, решение данного вопроса значительно упрощается.

При сопоставлении данных, представленных в табл. 1, видны как общие, так и отличительные особенности различных динамических явлений. При выбросах угля или песчаников основным энергоносителем, обеспечивающим работу перемещения и разрушения среды до мелких фракций, является сжатый газ. Величина потенциальной энергии метана, насыщающего выбросоопасные пласты, на два порядка превышает энергию упругого деформирования в объеме разрушающейся среды. При горных ударах работа обеспечивается в основном за счет реализации энергии вмещающих пород кровли (энергии положения). В этом заключается принципиальное отличие горных ударов и обусловлена причина их возникновения в негазоносных средах.

Общий признак всех динамических явлений в том, что наиболее энергоемким процессом оказывается не разрушение среды, а работа перемещения, т.е. переход потенциальной энергии массива в кинетическую, который совершается при отрыве кусков с поверхности обнажения и сообщения им начальной скорости отброса. Подставляя полученные значения в (1), будем иметь $\xi_e \approx 0,5$. Значит, до 50% потенциальной энергии массива, содержащейся в единице объема (или массы) разрушающейся среды, может реализовываться в работу. Остальная часть энергии рассеивается, не совершая рассмотренных видов работ.

Можно учесть дополнительный приток энергии из вмещающего массива, вести расчет по более строгим зависимостям, учитывающим потери энергии при совершении различных видов работ или, к примеру, различия условий деформирования среды в очистных забоях и в подготовительных выработках, в скважинах, но это в конечном итоге не изменит общей картины энергетического баланса.

Для более полной энергетической характеристики динамических явлений целесообразно использовать не только понятие работы, но и мощности, то есть в единицу времени, которая развивается при выполнении различных видов работ. Используя данные табл. 1, отметим, что при выбросах мощность достигает десятков тысяч киловатт и зависит от их массы.

Весьма существенным оказывается влияние метана, насыщающего угленосную толщу, на прочностные и деформационные свойства среды, на что ранее в геомеханике не обращали должного внимания и все исследования проводились на дегазированных образцах.

Ранее было известно, что призабойная часть угольных пластов при дегазации упрочняется, однако системные исследования не проводились. В связи с возникновением на больших глубинах проблемы выбросов породы и газа возникала необходимость ее детального изучения. Авторами, в частности, были разработаны методы и стенды, позволяющие опреде-

лять прочностные и деформационные свойства горных пород при различной степени их газонасыщенности и давления газа. Детально результаты этих исследований изложены в работах [13, 14]. Экспериментально установлено, что пределы прочности выбросоопасных песчаников при их газонасыщении снижаются в 1,5 раза при одноосном сжатии и до 2 раз – при растяжении. Аналогичные результаты получены и в натуральных условиях шахт. Изменение крепости пород оценивали по показателю «буримости» скважин [15].

Была также установлена взаимосвязь между напряженно-деформированным состоянием коллектора и его газопроницаемостью. Ранее считали, что с увеличением напряжений коллектора его проницаемость снижается. Данный вывод логически и физически обоснован. Тем не менее, при переходе из равнокомпонентного в разнокомпонентное поля напряжений газовая проницаемость не снижается, а наоборот, возрастает пропорционально соотношению компонент поля напряжений, ортогональных направлению фильтрационного потока. Установленная закономерность признана как научное открытие «Закономерность изменения газовой проницаемости горных пород при переходе их из объемного равнокомпонентного напряженного состояния в разнокомпонентное (диплом № 280) [16].

Научная значимость установленного открытия состоит в принципиально новом представлении об изменении газовой проницаемости разнокомпонентно напряженных сред в зависимости от степени разнокомпонентности главных напряжений, ортогональных направлению движения фильтрующегося газового потока. Практическая важность открытия в том, что оно дает основу для прогнозирования фильтрационных процессов, происходящих в объемно напряженных газонасыщенных средах, и для разработки рациональных технических решений по повышению эффективности дегазационных мероприятий с учетом величины и характера распределения главных составляющих действующего поля напряжений.

Метан, выделившийся в атмосферу горных выработок, представляет не меньшую угрозу (по сравнению с находящимся в массиве при избыточном давлении) из-за опасности взрывов или вспышек метановоздушной смеси.

Природная газонасыщенность отдельных слоев угленосной толщи существенно различна. Ее величина зависит от давления газа, коллекторских свойств и сорбционной емкости среды. Абсолютная пористость угля и песчаников примерно одинакова. В среднем ее можно принять равной 10%. Давление газа тоже одинаково. Однако сорбционная емкость угля достигает 90%, в то время как у песчаников не превышает 10%. Поэтому газонасыщенность угольных пластов (m^3/t) на порядок превышает газонасыщенность песчаников, средняя величина которых составляет $2,5 m^3/t$. Однако плотность песчаников в два раза выше, чем угля. Если относить природную газонасыщенность не к единице массы (как принято), а к единице объема, что более объективно, разница в природной газонасыщенности снизится

до 5-кратной величины. Есть еще один существенный фактор. Суммарная мощность угольных пластов и спутников не превышает 1-2% общей мощности угленосной толщи, в то время как мощность песчаников достигает 20% ее величины. Поэтому суммарная газоёмкость пород-коллекторов оказывается соизмеримой с природной газоносностью угля. Это необходимо учитывать при расчетах систем вентиляции шахт. Подтверждением сказанному служит тот факт, что газообильность шахт может на порядок превышать газоносность разрабатываемого угольного пласта.

Естественную влажность пород оценивают обычно в весовом отношении. Ее величина находится в пределах 1-3%. Однако, если в тонкопоровой структуре сланцев она заполняет практически весь объем порового пространства, то в углях и песчаниках – лишь 30%. Кроме того, она статична и при отсутствии стока практически не фильтруется (кроме водноносных горизонтов).

В зоне влияния горных работ все перечисленные параметры, кроме вещественного состава, претерпевают существенные изменения во времени и в пространстве. Закономерности их изменения зависят от внешних (природных) и внутренних (технологических) воздействий. От квалифицированного решения прикладных задач с учетом перечисленных особенностей во многом зависит безопасность и эффективность угледобычи.

Поэтому только их совместное изучение может реально способствовать улучшению данных показателей. Это не исключает актуальность и необходимость решения локальных проблем, направленных на решение конкретных научно-технических и технологических задач. Однако без общей теории геомеханики газонасыщенной угленосной толщи, реализация этих идей будет представлять собой частные решения. Управляющие воздействия направлены на поддержание горных выработок и создание безопасных условий труда горнорабочих.

Надо признать, что во многих случаях причиной аварий и катастроф служит, так называемый, «человеческий фактор». Для снижения его негативного влияния нужны не только организационные мероприятия, но и оснащение шахт современными средствами контроля геомеханического состояния среды и газодинамической обстановки.

Кроме того, при анализе причин возникновения динамических и газодинамических явлений эксперты, зачастую, затрудняются прийти к единому мнению. Отсюда следует, что создание общей теории геомеханики газонасыщенной угленосной толщи с учетом геологических факторов остается актуальной научной проблемой.

Основные научные и технологические результаты, полученные авторами на основании созданной теории. Установлено, что все три компоненты поля напряжений в горном массиве не равнозначны между собой. Предложен способ и создано оборудование, позволяющие определять величину и ориента-

цию в пространстве в условиях конкретной шахты на основе определения параметров локального гидро-разрыва стенок пробуренных скважин. Это позволяет повысить устойчивость горных выработок, снизить энергоёмкость разрушения и опасность возникновения динамических и газодинамических явлений, а также оптимизировать положение анкерной крепи. Полученные результаты использованы на шахтах им. Скочинского, Поченкова, Засядько, Гагарина и других, где нами производились конкретные измерения.

Научно обосновано и экспериментально подтверждено, что газонасыщенность существенно влияет на прочностные и деформационные свойства не только угольных пластов, но и таких прочных пород как песчаники. Указанное необходимо учитывать при геомеханических расчетах, что ранее не предполагалось и не учитывалось.

На базе полученных результатов созданы гидростатические и динамические способы контроля и управления состоянием горного массива, которые закреплены нормативными (инструктивными) документами.

Определены границы защищенных зон при выемке угольных пластов для безопасной проходки полевых выработок по выбросоопасным песчаникам.

Доказано, что напряженно-деформированное состояние не оказывает заметного влияния на емкостные свойства коллекторов, однако существенно (на порядки) изменяет их проницаемость. Ранее считалось, что с увеличением напряжений проницаемость среды падает. Это не вызывает сомнений. Вместе с тем в неравнокомпонентном поле напряжений с ростом неравнокомпонентности проницаемость при прочих равных условиях не снижается, а наоборот, возрастает. Данная неизвестная ранее закономерность была зарегистрирована как научное открытие [16].

Научные результаты вошли составной частью в общую теорию внезапных выбросов угля, породы и газа, созданную совместно с ведущими научно-исследовательскими институтами России и Украины. Основные ее положения вошли в Правила безопасности.

Благодаря выполненным исследованиям и выводам создан ряд современных высокоточных приборов контроля параметров шахтной атмосферы: электронные анемометры, метанометры с пределом измерения 0-40%, прецизионные микробарометры.

Дополнительные проблемы возникли в связи с закрытием нерентабельных угольных шахт, в которых были прекращены не только добыча, но и поддержание и организованное проветривание горных выработок. При этом геомеханические и газодинамические процессы в этих шахтах не прекратились. Сохранилась лишь естественная вентиляция. Ранее ее рассчитывали по двум параметрам уравнения состояния газа: по их плотности и по температуре. Универсальная газовая постоянная принималась постоянной. Однако в закрытых шахтах ситуация оказывается совершен-

но иной. Изменение концентрации метана в атмосфере шахт в пределах от 0 до 100% ведет к изменению газовой постоянной в 1,8 раза. Это значительно больше, чем изменение плотности или абсолютной температуры. Нами указаны причины подобных изменений и предложен новый способ расчета естественной тяги в этих условиях.

Столь же актуальна проблема добычи и использования метана закрытых шахт. За рубежом подобный опыт уже накоплен [18]. Имеются примеры и в нашей стране [19]. Необходимо расширять подобные работы, в том числе для снижения социально-экономических последствий.

Список литературы

1. Лукинов В.В., Пимоненко Л.И. Тектоника метаноугольных месторождений Донбасса. – К.: Наук. думка, 2008. – 352 с.
2. Лидин Г.Д. Зональное распределение природных газов в Донбассе // Изв. АН СССР. – 1944. – № 6. – С. 337-345.
3. Успенский В.А. Опыт материального баланса процессов, происходящих при метаморфизме угольных пластов // Изв. АН СССР, 1954. – № 6. – С. 94-101.
4. Козлов В.П., Токарев Л.В. Масштабы газообразования в осадочных толщах (на примере Донецкого бассейна) // Советская геология. – 1961. – № 7. – С. 19-33.
5. Кравцов А.И. Геологические условия газоносности угольных, рудных и нерудных месторождений полезных ископаемых. – М.: Недра, 1968. – 331 с.
6. Брижанев А.М. Закономерности изменения газоносности по глубине разработки в Донбассе // Газоносность угольных бассейнов и месторождений СССР. – М., 1979. – С. 98-101.
7. Дмитриев А.М. Проблемы газоносности угольных месторождений / А.М. Дмитриев, Н.Н. Куликова, Г.В. Бодня. – М.: Недра, 1982. – 263 с.
8. Забигаило В.Е. Проблемы геологии газов угольных месторождений / В.Е. Забигаило, А.З. Широков. – К.: Наук. думка, 1972. – 172 с.
9. Скочинский А.А. Классификация выделения метана в каменноугольных шахтах / А.А. Скочинский, Г.Д. Лидин // Изв. СССР, ОТН. – 1948. – № 11. – С. 1741-1751.
10. Кравцов А.И. Влияние геологических факторов на распределение природных газов в угольных пластах и вмещающих породах // Газоносность угольных бассейнов и месторождений СССР. – М.: Недра, 1980. – Т. 3. – С. 74-101.
11. Кулинич В.С., Перепелица В.Г., Шматовский Л.Д. Теоретические и экспериментальные аспекты определения параметров геомеханического состояния газоносного углепородного массива // Геотехническая механика. – Д.: ИГТМ НАН Украины. – 2004. – Вып. 48. – С. 133-142.
12. Перепелица В.Г., Шевелев Г.А., Кулинич В.С. Фильтрационные свойства породного массива и особенности их определения // Геотехническая механика. – Д.: ИГТМ НАН Украины. – 2005. – Вып. 55. – С. 66-73.
13. Шевелев Г.А. Природа и механизм выбросов с учетом газодинамического фактора // Уголь Украины. – 1974. – № 5. – С. 36-39.
14. Олейник В.А., Шевелев Г.А. Результаты лабораторных исследований изменения свойств угля выбросоопасных пластов при фазовых превращениях полимерного раствора // Выбросы угля, породы и газа. – К.: Наукова думка, 1976. – С. 47-55.
15. Шевелев Г.А., Кулинич В.С. Буримость как метод оценки механических свойств выбросоопасных зон в массиве песчаника // Уголь. – 1974. – № 12. – С. 38-41.
16. Научное открытие (диплом № 280) «Закономерность изменения газовой проницаемости горных пород при переходе их из объемного равнокомпонентного напряженного состояния в разнокомпонентное» / В.С. Кулинич, В.Г. Перепелица, В.В. Лукинов и др. – Научные открытия (Сб. кратких описаний научных открытий, научных идей, научных гипотез – 2005). – М.: РАЕН, 2006. – С. 21-23.
17. Перепелица В.Г., Кулинич В.С., Шевелев Г.А. Изменение газовой проницаемости в напряженных горных породах // Уголь Украины. – 2006. – № 3. – С. 33-35.
18. Булат А.Ф. Концепция комплексной дегазации углепородного массива для условий шахты им. А.Ф. Засядько // Геотехническая механика. – Д.: ИГТМ НАН Украины. – 2002. – Вып. 37. – С. 10-17.
19. Булат А.Ф., Кияшко Ю.И., Гажемон Л.И. Опыт и перспективы промышленной добычи шахтного метана на Украине // Геотехническая механика. – Д.: ИГТМ НАН Украины. – 2004. – Вып. 48. – С. 67-75.

Рекомендовано до публікації д.т.н. В.І. Бондаренком 17.12.09