

Канд. техн. наук М. М. Андреев,
канд. техн. наук В. В. Камышан,
инж. М. М. Андреев
(ООО «Экометан»)

ЭКРАНИРУЮЩИЕ СКВАЖИНЫ – СРЕДСТВО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОЧИСТНЫХ РАБОТ

Застосування екранувальних свердловин, успішно протестоване в шахтних умовах, забезпечує високий рівень газодинамічної безпеки очисної виїмки, який досягається за рахунок ефективної дегазації (біля 70 %), підвищення монолітності бокових порід, ліквідації раптових викидів і проривів порід в робочий простір, попередження вибухів і спонтанних займань метаноповітряної суміші.

SCREENING WELLS – MAINTAINS MEANS GAS DYNAMICS SAFETY OF CLEARING WORKS

Use of screening wells, successfully tested in mine conditions, provides high level gas dynamics safety of clearing works, which is reached at the expense of effective degazation (about 70 %), increases of solidity of lateral breeds, liquidations of sudden emissions and breaks of breeds in working space, preventions of explosions and spontaneous self-ignitions of methane-air mixture.

Термодинамика угленосного массива рассматривает различные формы его газодинамических проявлений (ГДЯ), вызванных горными работами: обрушения пород, стационарные и экстраординарные выделения метана, аномальные проявления горного давления, внезапные выбросы угля и газа, внезапные прорывы в горные выработки (в выработанное пространство) вмещающих пород, воспламенения метановоздушной смеси, формирование волн Вебера на призабойном участке разрабатываемого пласта [1 - 4]. Модель петли гистерезиса давления показала единство природы условий формирования различных по интенсивности и формам реализации ГДЯ как функцию термодинамических параметров состояния угля на призабойном участке [5, 6].

Макромолекула угля состоит из трех структур: боковых цепей (Б), графитоподобного ядра (Я) и активного комплекса (A^K). Эти структуры представлены углеводами, объём каждой из которых зависит от степени метаморфизма угля и глубины залегания пласта. На значительном удалении от забоя вне области влияния горных работ их объём остаётся неизменным.

Проследим динамику термодинамических процессов работающей лавы на элементарном участке пласта Δ при наличии экранирующей скважины (ЭС). При приближении данной части пласта Δ к угольному забою на расстояние L (м) макромолекула попадает в зону нарастающего опорного давления (ОД), что равнозначно увеличению глубины её залегания. Рост давления сопровождается разрывом связей периферийной части Б макромолекулы и увеличением объёма A^K . Структурно-фазовые переходы в этих условиях исключаются (принцип Ле-Шателье – Брауна) [7]. На участке Δ пласт уменьшается по мощности – заканчивается первая фаза волны Вебера.

Дальнейшее приближение участка Δ к угольному забою на расстояние l (м) сопровождается снижением ОД относительно величины n_{\max} (n – коэффициент концентрации напряжений в массиве в зоне ОД). Система макромолекулы стремится компенсировать снижающее давление образованием молекулы воды. В условиях снижающегося ОД внутреннее давление макромолекулы превышает его [7]. При отсутствии ЭС пласт увеличивает свою мощность – вторая фаза волны Вебера, которая завершается при уменьшении расстояния между участком Δ и забоем до величины S .

На участке пласта протяженностью $(l - S)$ породный массив, прилегающий непосредственно к угольному пласту, изменяется вектор градиента напряженного состояния на 180° . Структурные связи элементов массива в плоскости напластования пород ослабевают. Под воздействием ОД A^K , обладая повышенной проницаемостью, стремится покинуть горючую массу и пронизывает часть прилегающего непосредственно к пласту породного массива, подготавливая его к формированию зоны опережающих трещин (ЗОТ).

ЭС на участке Δ поглощает образующуюся в макромолекуле воду и препятствует формированию трещин в массиве. Формирование выбросоопасных зон приурочено именно к этому участку пласта [4]. Увеличение мощности пласта на этом участке нередко отмечались при проведении выработок, а «энергетическая» гипотеза В.В. Ходота учитывает ОД, как основной параметр в развитии внезапного выброса угля и газа [8, 9]. Каптирование ЭС формирующей молекулы воды препятствует образованию петли гистерезиса давления и устраняет возможность внезапного выброса угля и газа [3-6]. В условиях экспериментальных наблюдений установлено, что количество воды, поступившее в ЭС, соответствует «материнской» влажности пласта [10]. Количество воды, выделяющееся при выемке угольных пластов, определяется аналитически [3, 11].

При приближении к забою участка Δ на расстояние S в начальной её точке снижение давления на пласт достигает уровня геостатического γZ , а его градиент – максимального значения. В этих условиях образование молекулы воды не в состоянии компенсировать темпы снижения давления в системе и спонтанно возникает процесс образования газовой фазы вещества. Этот момент, когда пористость межмолекулярного пространства отсутствует, процесс начинается с вытеснения формирующими газами воды из макромолекулы горючей массы. Но темпы снижения давления настолько велики, что элементы A^K проникают в породный массив, прилегающий к угольному пласту, разрушают ослабленные его связи на участке $(l - S)$ и формируют ЗОТ. Наиболее активные и обладающие повышенной проницаемостью ионы водорода создают в сформированных трещинах «каналовые лучи», напряженность электрического поля которых на выходе трещин может достигать несколько сот вольт/м. В соответствующих условиях может возникнуть коронный разряд, который в состоянии воспламенить метановоздушную смесь у устья трещины [12].

Многократное воздействие на породный массив, прилегающий непосредственно к угольному пласту, знакопеременного градиента изменения ОД и прони-

зывание его элементами A^K вызывает нарушения сплошности пород, которые реализуются обрушениями (падениями кусков) породы в пространстве лавы.

По мере уменьшения расстояния до забоя участка Δ под давлением соизмеримым с геостатическим в угольном пласте начинает формироваться «пористость», которая определяет метаносодержание призабойного участка угольного пласта. Характер изменение метаносодержания призабойного массива угольного пласта был прослежен методом магнитно-резонансной локации недр в условиях 8 восточной лавы пласта c_{11} шахты «Южнодонбасская № 3» (рис. 1) [13].

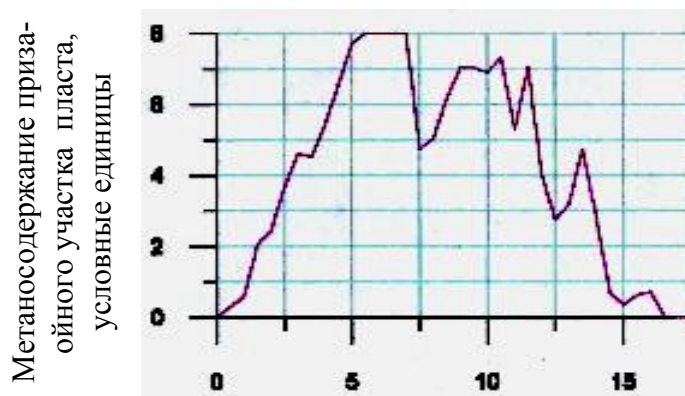


Рис. 1 – Метаносодержание призабойного участка пласта S (по данным натуральных определений методом магнитно-резонансной локации недр в условиях 8 восточной лавы пласта c_{11} шахты «Южнодонбасская» № 3 [8])

В условиях неполного развития ЗОТ (например, при небольшом удалении лавы от разрезной печи) в угольном массиве нарастает газовое давление, которое может реализоваться отжимом угля от массива или микровыбросом. Соотношение частей газа, которое выделяется с участка S через породный массив в выработанное пространство (минуя лаву) и из забоя, зависит от технологических и геологических параметров выработки в рассматриваемый момент.

ЭС перехватывают ионные потоки из угольного пласта, в пространстве которых вначале образуется и выделяется вода, а на участке S – метан. Их применение исключает возможность внезапного выброса, спонтанного воспламенения метана. При этом улучшается состояние пород кровли, а эффективность дегазации разрабатываемого пласта и надрабатываемого массива достигает более 70 %. Во всех случаях экспериментальных наблюдений на участках, на которых применялись ЭС, нагрузка на лаву возрастала за счет улучшения состояния боковых пород и газовой обстановки в выработках.

В качестве примера приведены результаты экспериментальных наблюдений за эффективностью каптирования метана ЭС на шахтах им. Ильича и «Перевальская» [10, 15].

Выполнен анализ эффективности каптирования метана 17 экранирующими скважинами, пробуренными с откаточного штрека 1 лавы в почве пласта на

участке спаренных 1 и 2 западных лав пласта l_8^B гор. 710 м шахты им. Ильича (рис. 2). Структура газового баланса участка приведена в таблице 1. Сопоставление расчетных значений ИМА (физико-химического) и статистиковероятностного СВМ [14] с натурным ИМ определением интегральной метанообильности участка q_u показало, что первый отличается от ИМ на 0.6 м³/т (5 %), а второй – на 10.7 (85 %). За весь период работы лавы было каптировано ~1,5 млн. м³ метана (~500 м³ газа на метр пробуренной скважины). Эффективность дегазации по участку составила 33,2 %. С учетом площади выемки угольного пласта в зоне влияния скважин (45 % от всей площади) и доли метановыделения из названных источников (88,7 %), эффективность дегазации пласта и надрабатываемого массива составила 79,1 % (рис. 3 а)

Таблица 1 – Сопоставительный расчет интегральной метанообильности q_u по участкам методами ИМА и СВМ (по [14])

| 1 и 2 западных лав пласта l_8^B гор.710 м | | | | | | 1 восточной лавы пласта k_3^B гор. 492 м | | | | | |
|--|-----------------|----------------|----------------|-------------|------|---|---------------|----------------|----------------|-------------|------|
| Ин-дек с пла с-та | Мощ - ност ь, м | Глу - би-на, м | $M, м^3/тсбм.$ | $q_w м^3/т$ | | ин-дек с пла с-та | мощ- ность, м | Глу - би-на, м | $M, м^3/тсб м$ | $q_w м^3/т$ | |
| | | | | ИМ А | СВ М | | | | | ИМ А | СВ М |
| m_4 | 0,68 | 493 | | | 2,2 | k_4^I | 0,2 | | | | 2,1 |
| m_3 | 0,9 | 526 | | | 4,3 | k_4 | 0,54 | 317 | 12,9 | 7,0 | 6,1 |
| m_2 | 0,4 | 552 | | | 2,4 | k_3^I | 0,4 | 339 | 14,7 | 5,6 | 5,4 |
| m_1 | 0,2 | 577 | 13,7 | 1,5 | 1,4 | k_3^B | 0,8 | 350 | 15,5 | 11,8 | 9,2 |
| l_8^B | 1,28 | 639 | 15,5 | 9 | 6,4 | $б/и$ | 0,1 | 355 | 15,8 | 1,6 | 1,2 |
| l_8^H | 0,35 | 650 | 15,7 | 2,8 | 3 | k_3^H | 0,7 | 361 | 15,9 | 11,1 | 8,4 |
| l_6 | 1,23 | 695 | | | 0,2 | k_2^2 | 0,4 | 376 | 16,2 | 6,5 | 2,6 |
| | | | | | | k_2^I | 0,6 | 399 | | | 1,5 |
| <i>из пород</i> | | | | | 3,5 | <i>из пород</i> | | | | | 2,4 |
| $q_u = 12,7 м^3/т$ (по ИМ) | | | | 13,3 | 23,4 | $q_u = 43.53 м^3/т$ (по ИМ) | | | | 43,6 | 38,9 |

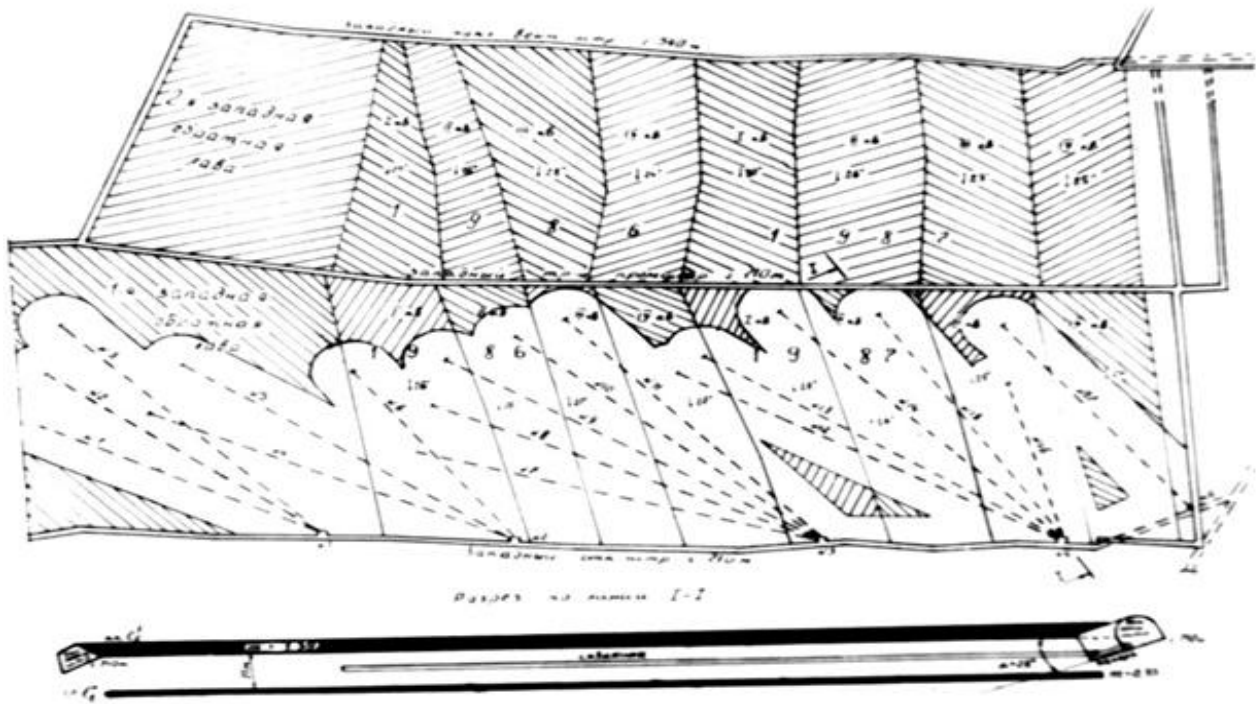


Рис. 2 - Схема дегазации ЭС на выкопировке с плана горных работ по выемочному участку 1 и 2 западных лав пласта l_8^6 гор. 710 м (незаштрихованная часть – зона дегазирующего влияния ЭС)

Выполнен анализ эффективности каптирования метана двумя экранирующими скважинами, пробуренными параллельно забою в породах почвы длиной

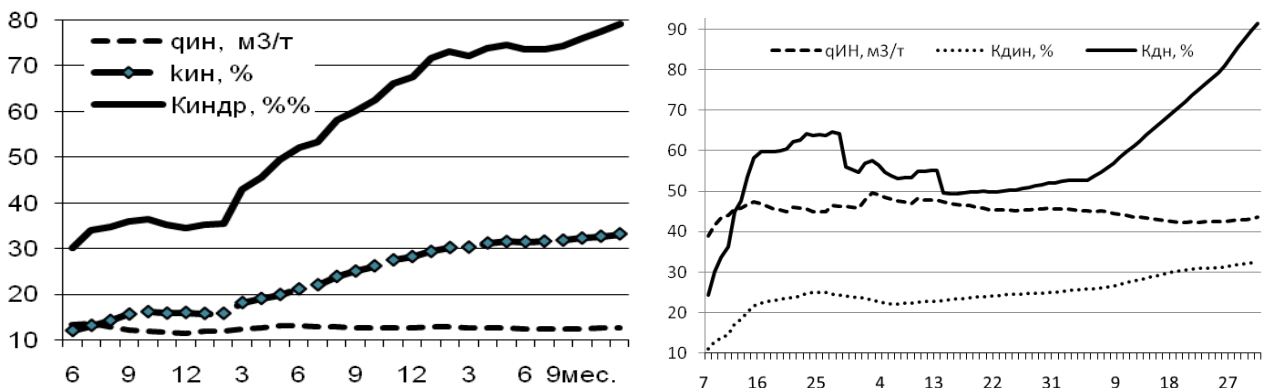


Рис. 3 - Интегральные значения метанообильности q_u ($\text{м}^3/\text{т}$) и эффективности каптирования метана ЭС из разрабатываемого пласта и надрабатываемого массива ($k_{индр}$, %) и в целом по участкам ($k_{ин}$, %) : а) 1 и 2 западных лав пласта l_8^6 гор. 710 м;

120м с интервалом 22м на участке 1 восточной лавы пласта k_3^6 гор. 492 м шахты шахты «Перевальская». Структура газового баланса участка, приведенная в табл. 1, характеризуется высоким уровнем выделения метана из разрабатываемого пласта и надрабатываемого массива (71 %). При подходе забоя лавы к 1 скважине на расстояние 21,9 м в неё начал выделяться метан. За 85-дневный

период наблюдений забой лавы продвинулся на 105,6 м. При этом было добыто 42,4 тыс. т угля, а количество каптированного экранирующими скважинами метана – 0,6 млн. куб. м. Удельный съём метана с 1 тонны добываемого угля составил $14.1 \text{ м}^3/\text{т}$, а коэффициент эффективности дегазации по участку (интегральный) – $k_{ин} = 32,3 \%$ (рис. 3 б).

Коэффициент эффективности дегазации разрабатываемого пласта и надрабатываемого массива $k_{индр}$ учитывает долю метанового выделения из них в газовом балансе участка и диапазон дегазирующего влияния скважин по площади (по длине лавы и её подвиганию). В первый день включения в работу скважины его величина составила 24,4 %. По мере роста величины площади охвата дегазирующим влиянием массива через 20 дней его величина возросла в 2,5 раза. По мере подвигания лавы и уменьшения дегазируемой площади разрабатываемого пласта метан в скважины начал поступать из пласта k_3^H . Величина $k_{индр}$ уменьшилась примерно до 50 % и с небольшими колебаниями сохранялась в течение последующих 39 дней. Этот момент соответствует выходу лавы из зоны дегазирующего влияния ЭС. Дальнейшая добыча угля из лавы не влияла на эффективность дегазирующего влияния ЭС, а продолжающееся каптирование метана относилось к ранее добытому углю, которое в дальнейшем оставалось неизменным. Кроме того, в каптируемый из надрабатываемого массива метановый поток импульсно включился газ из пласта k_2^2 . Величина $k_{индр}$ резко возросла и за последние 29 дней достигла 91,5 % (рис. 3 б).

Следует отметить, что метод СВМ занижает метановыделение из разрабатываемого пласта и надрабатываемого массива. При том количестве метана, которое было каптировано ЭС в рассматриваемых примерах, эффективность их дегазации по методу СВМ превышает 100 %. О несоответствии метода СВМ реальному метаносодержанию угленосного массива неоднократно указывалось ранее [3, 10, 13, 15-17].

Выводы.

1. В рассматриваемых условиях исследования показали поэтапность каптирования метана ЭС из разрабатываемого пласта и надрабатываемых спутников, а также надежность метода прогноза интенсивности и характера формирования метановых потоков из источников, разгружаемых от геостатического давления.

2. Применение ЭС обеспечивает высокий уровень газодинамической безопасности очистной выемки за счет эффективной дегазации разрабатываемого пласта и надрабатываемого массива, повышения монолитности пород, ликвидации внезапных выбросов и прорывов пород в рабочее пространство, предупреждения взрывов и спонтанных воспламенений метановоздушной смеси.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев М. М. Введение в термодинамику угленосного массива / М. М. Андреев // Сб. докладов Международной науч.-техн. конференции «Форум горняков – 2003». – Днепропетровск: НГАУ, 2003. – С. 51 – 60.
2. Андреев М. М. Гомология газодинамических проявлений массива / М. М. Андреев // Разраб. месторождений полез. ископаемых: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – 1989. – Вып. 83. – С. 40 – 47.
3. Андреев М. М. Технологические решения комплексной нейтрализации опасностей очистной выемки / М. М. Андреев, В. В. Камышан, М. М. Андреев // Проблеми гірського тиску. – 2007. – Вып. 15. – С. 190 – 225.

4. Андреев М. М. Формирование петли гистерезиса давления / М. М. Андреев // Разраб. месторождений полез. ископаемых: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – 1989. – Вып. 84. – С. 14 – 23.
5. Андреев М. М. Технология управления термодинамикой угленосного массива / М. М. Андреев // Уголь Украины, 2004. – № 6. – С. 16 – 22.
6. Горное давление – основной фактор развития динамических явлений угленосного массива / М. М. Андреев, В. В. Камышан, М. М. Андреев, Р. И. Мануйленко // Труды ИПММ НАН Украины. – 2008. – Т.16. – С. 3 – 12.
7. Курс физической химии. // Под ред. Я. И. Герасимова. – М. : Мир – 1971. – 224 с.
8. Ходот В. В. Теория и практика борьбы с внезапными выбросами угля и газа / В. В. Ходот // Сб. «Борьба с внезапными выбросами в угольных шахтах. – М. : ГОСГОРТЕХИЗДАТ. – 1962. – С. 3 – 39.
9. Бобров И. В. Работы МакНИИ в области борьбы с внезапными выбросами угля и газа за 1956 – 1960 гг. / И. В. Бобров, Р. М. Кричевский // Там же. – С. 39 – 174.
10. Выполнить исследования и разработать проект руководства по дегазации угленосной толщи барьерными и экранирующими скважинами // Отчет о научно-исследовательской работе №0186000051846 (рук. Андреев М. М., Гершун О. С.). – Донецк: Донуги. – 1988. – 84 с.
11. Андреев М. М. Водородный баланс макромолекулы угля при образовании метана и воды в горючей массе / М. М. Андреев, В. В. Камышан, М. М. Андреев // Материалы международной конференции «Форум горняков – 2007». – Д. : Национальный горный университет, 2007. – С. 107 – 110.
12. Андреев М. М. О причинах некоторых воспламенений метана в горных выработках шахт / М. М. Андреев // Разраб. месторождений полез. ископаемых: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – 1987. – Вып. 77. – С. 95 – 101.
13. Термодинамика угленосного массива в аспекте пассивной магнитно-резонансной локации недр / М. М. Андреев, В. В. Камышан, М. М. Андреев [и др.] // Уголь Украины, 2006. – № 10. – С. 36 – 39.
14. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – К. : Основа. – 1994. – 312 с.
15. Способ каптирования метана скважинами на пути его движения из источников поступления к выработкам / М. М. Андреев, О.С. Гершун, В.К. Колюпанов, Н.Н. Гатауллин // Совершенствование технологии производства на шахтах Донбасса. – Донецк: Донуги. – 1987. – С. 137 – 145.
16. Андреев И. М., Андреев М. М. и др. Способ многостадийного воздействия на призабойную зону угленосной толщи для борьбы с газовойделением, пылеобразованием, выбросами, обрушениями и температурой. // Бюллетень изобретений СССР (а.с. № 1548467). – М. : ВНИИГПЭ – 1990. – №9. – С. 44 – 47.
17. Андреев М. М. Критерии применения дегазации по способу и параметрам / М. М. Андреев // Уголь Украины, 2000. – № 8. – С. 46 – 49.

УДК 622.831.325

Канд. техн. наук С. А. Курносков,
(ИГТМ НАН Украины)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕГАЗАЦИИ ПОЧВЫ ОТРАБАТЫВАЕМОГО ПЛАСТА

Представлено схему дегазації газонасиченого масиву, яка передбачає проведення газозбірної виробки у підшві виімкового стовпа, що відпрацьовується, застосування якої дозволяє відокремити у просторі та часі процеси видобутку вугілля і дегазації масиву та підвищити ефективність дегазації підшви пласта, що відпрацьовується.

INCREASE OF EFFICIENCY OF DEGASIFICATION OF SOIL OF A FULFILLED LAYER

The scheme of degasification of the rock mass, which provides driving gas-collecting mine working in a soil of a fulfilled panel, application of which allows to divide in space and time the processes of mining and degassing of array and to raise efficiency of degasification of soil of a fulfilled layer.

В настоящее время шахты Украины отрабатывают угольные пласты, расположенные на глубинах, превышающих 1000 м. В данных условиях создаются дополнительные трудности, связанные с повышенным горным давлением, ко-