

УДК 622.817.47

ОСОБЕННОСТИ МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЯ
ИЗ ДЕГАЗАЦИОННЫХ СКВАЖИН ВПЕРЕДИ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ

В. С. Бригида¹, Н. Н. Зинченко²

¹Донецкий научно-исследовательский угольный институт (ДонУГИ),
ул. Артема, 114, 83048, г. Донецк, Украина,

²Донецкий национальный технический университет (ДонНТУ),
ул. Артема, 58, 83001, г. Донецк, Украина

Выявлены особенности локальных минимумов концентрации метана в подрабатываемых дегазационных скважинах и причины их зональности. Предложена гипотеза метановыделения в подземные скважины, в которой учитывается явление зональной дезинтеграции горных пород вокруг очистной выработки.

Дегазация скважины, явление зональной дезинтеграции горных пород, концентрация метана

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. При реализации комплексных мероприятий, направленных на повышение объемов извлекаемого и утилизируемого рудничного газа, немаловажной проблемой является их низкая рентабельность. Основная причина этого — низкая концентрация метана в метановоздушной смеси, которая снижает производительность поверхностных когенерационных установок, а при падении ниже определенного уровня делает невозможным их дальнейшую эксплуатацию.

В реальных условиях отработки высокогазоносных угольных пластов на больших глубинах силы опорного давления и сдвигание пород кровли представляют серьезную угрозу устойчивости дегазационных скважин. Снижается сопротивление газопроводящих каналов около устья скважины и развивается аэродинамическая связь с рудничной атмосферой, обуславливающая интенсификацию подсосов воздуха. Это приводит к обеднению отводимой смеси, снижению надежности текущей дегазации и безопасности ведения очистных работ. Под термином надежность дегазационной скважины понимают ее свойство обеспечивать безопасный уровень (не ниже 25 %) концентрации метана (в извлекаемой газовой смеси) в течение требуемого срока службы.

На международном и национальном уровнях существует недостаточная точность отраслевых документов, которые помогли бы выработать адекватные решения [1–3]. В Германии на невозможность, в некоторых случаях, обеспечивать безопасный аэрогазовый режим выемочного участка путем снижения дополнительного газовыделения средствами дегазации указывал Э. Бредле [4]. Авторы работы [5] одними из первых за рубежом обнаружили, что снижение депрессии и концентрации метана в большинстве скважин вызвано “короткими токами” (подсосами) воздуха.

Их предлагалось устранить за счет совершенствования технологии крепления скважин обсадными трубами, но это не дало результата [5]. В [6] показано, что наиболее вероятным путем подсосов является кольцевое пространство между стенками скважины и обсадной трубой. Для инспекции мероприятий по охране труда горнорабочих в [7] разработано руководство по эффективному управлению дегазацией на угольных шахтах Англии. В нем обозначена проблема обеспечения borehole stability (устойчивости дегазационных скважин), но отсутствует точное определение данного понятия и не описано его влияние на надежность работы дегазационной системы. Причиной потери устойчивости названо сдвигание слоев пород в зоне влияния подготовительной выработки под действием очистной выемки. В [8] при определении мероприятий, направленных на повышение продуктивности дегазации, исследованы два типа факторов: геологические и операционные. Авторы утверждают, что существенной угрозой устойчивости дегазационных скважин являются действия главных вертикальных и горизонтальных напряжений, которые вызывают вывалы породной мелочи от их стенок.

На Украине проблеме деформирования и выхода подземных скважин из строя под влиянием отработки запасов выемочных участков посвящены статьи известных отечественных ученых [9–11]. Однако проблема повышения надежности их работы изучена недостаточно и является актуальной научно-технической задачей обеспечения безопасной интенсификации угледобычи.

В этой связи исследование влияния очистной выемки на надежность работы подземных дегазационных скважин является весьма актуальной задачей.

Геомеханические условия интенсификации газовыделения в скважины. Главный аспект, определяющий теоретические основы процесса газовыделения в дегазационные скважины (горные выработки), — особенности десорбции физически связанного метана из дегазируемого массива под влиянием очистных работ. Теория “разгрузки” объясняет физический переход из связанного метана с углем в свободное состояние, но не объясняет механизм его миграции. Подтверждает данную теорию исследование [12], в котором показано, что: 1) органическое вещество угля, находящееся в естественных условиях ненарушенного горными работами угольного пласта, представляет собой твердый газоугольный раствор; 2) твердый газоугольный раствор метастабилен и распадается при изменении давления и температуры с выделением газообразной фазы; 3) существует возможность формирования вторичных твердых растворов. По теории “раскрытия трещин” основными причинами метановыделения в скважины являются сдвигания углепородного массива. При подработке породных слоев кровли, при их достаточной прочности на изгиб образуются пустоты Вебера. В пласте происходит раскрытие газопроводящих трещин и интенсификация десорбции метана.

Обе теории развивались параллельно и доминировали начиная с первой половины прошлого века. Недостатком каждой из них является то, что для выделения метана в скважины необходимы оба фактора — разгрузка от горного давления (для распада газоугольного раствора) и раскрытие трещин (образование каналов фильтрации). Эти особенности учтены в теории газовыделения путем комбинации нескольких гипотез горного давления — “свода” (М. М. Протодьяконова) и “опережающей трещиноватости” (А. Лабаса) [13]. Указано на возможное существование небольшого количества выделяемого метана в точке микроразгрузки перед областью динамического опорного давления, но этот момент не учтен в теории.

На наш взгляд, при разработке модели метановыделения необходимо учитывать существование явления зональной дезинтеграции (ЗД) в зоне разрушенных пород в окрестности как очистной, так и подготовительных выработок. Явление ЗД можно охарактеризовать так: “при прове-

дении подземных выработок в массиве горных пород, на соответствующих предельному напряженному их состоянию и больших глубинах, вокруг горных выработок образуются кольцеобразные чередующиеся зоны слабо нарушенных и разрушенных пород” [14]. Принято считать, что породная толща на больших глубинах находится в условиях существования нарушений, эндо- и экзокливажных трещин, т. е. в псевдодискретном состоянии, когда напряжения в массиве превышают пределы упругости породных слоев, а боковые деформации невозможны до приближения к горным выработкам. Поэтому впереди лавы возможно “чередование зон с различной нарушенностью” как проявление волнообразного изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) углепородного массива.

Это может стать основой доказательства и развития динамической волновой теории горного давления (совмещая гипотезы Г. Шпаккелера, динамических волн напряжений И. П. Черняка и явление зональной дезинтеграции В. Н. Опарина), что в свою очередь должно учитываться при совершенствовании теории метановыделения в дегазационные скважины.

Исходя из описанных представлений, можно опираться на косвенный метод решения обратной задачи — выявления особенностей механизма горного давления по динамике метановыделения. Для определения истинного характера газоотдачи из массива в качестве объекта исследования не всегда следует выбирать величину дебита метана ввиду его сильной зависимости от разряжения. А величина “вакуума” в устье скважины связана с рядом технологических факторов и в течение добычной смены изменяется в достаточно широком диапазоне значений, что искажает реальную картину исследуемого процесса. По этим причинам использование концентрации метана, на который разряжение влияет в меньшей мере, более представительно [15].

Влияние очистных работ на динамику концентрации метана в подземных дегазационных скважинах. Исследования выполнялись в 18-й восточной лаве пласта m_3 ПАО “Шахта им. А. Ф. Засядько”. Глубина ведения работ 1300 м, система разработки — длинным столбом по простиранию (обратным ходом). Пласт пологий, имеет мощность 1.35–1.55 м, угол падения 6° , природную метанообильность 19–23 м³/т с.б.м., склонен к самовозгоранию, опасен по выбросам угля и газа. Длина лавы 305 м, протяженность столба 1100 м. При его отработке осуществлялась дегазация вышележащих пластов-спутников и вмещающего углепородного массива. Система дегазации состоит из сети дегазационных скважин, вакуум-насосной станции и когенерационной установки, которая находится на поверхности. Сеть скважин представлена их “кустами”, соединенными между собой трубопроводами, которые подключены к магистральным трубопроводам, выходящим на поверхность. “Куст” — три подземные скважины, пробуренные из одного пикета в угольный пласт или дегазируемый породный массив (рис. 1). Пикет — участок вентиляционной выработки, расположенный на определенном удалении от начала выемочного участка (S_n).

Скважины бурились из вентиляционного штрека навстречу очистному забою под углами 35° (скважина № 3) и 60° (скважина № 4) к направлению оси выработки — угол γ . Относительно горизонта угол подъема скважин (β) составлял 40° (№ 3) и 60° (№ 4). Кроме того, были пробурены скважины № 1 в кровлю выработки и № 2 в сторону выработанного пространства отработанной ранее 17-й восточной лавы, с углами γ — 0° (№ 1) и 60° (№ 2), β — 40° (№ 1) и 60° (№ 2) соответственно. Отбор метана проводили из скважин, которые были объединены в чередующиеся “кусты” двух видов, один состоял из скважин № 1, 3, 4, другой — № 2, № 4. Расстояние между ними 20–25 м. Существенную сложность представлял учет взаимного влияния изменения расстояния до лавы и длины пролета кровли (P) на динамику метановыделения. Пример решения приведен для скважин № 3, период времени наблюдений — второй месяц отработки запасов (апрель 2008 г.).

При этом скорость подвигания лавы была неравномерной и на момент начала наблюдений она уже прошла 17 м ($S_n = 1343$ м), а к концу рассматриваемого периода длина пролета составляла 80 м ($S_n = 1280$ м). Данные замеров концентрации метана с пикетов 1330, 1310, 1280, 1260, 1230 и 1210 м проверялись на наличие грубых ошибок, после чего на их основе строилась аппроксимирующая поверхность для получения проекций на ось времени и расстояния до начала участка. На рис. 2 показана общая динамика работы дегазационной системы во времени.

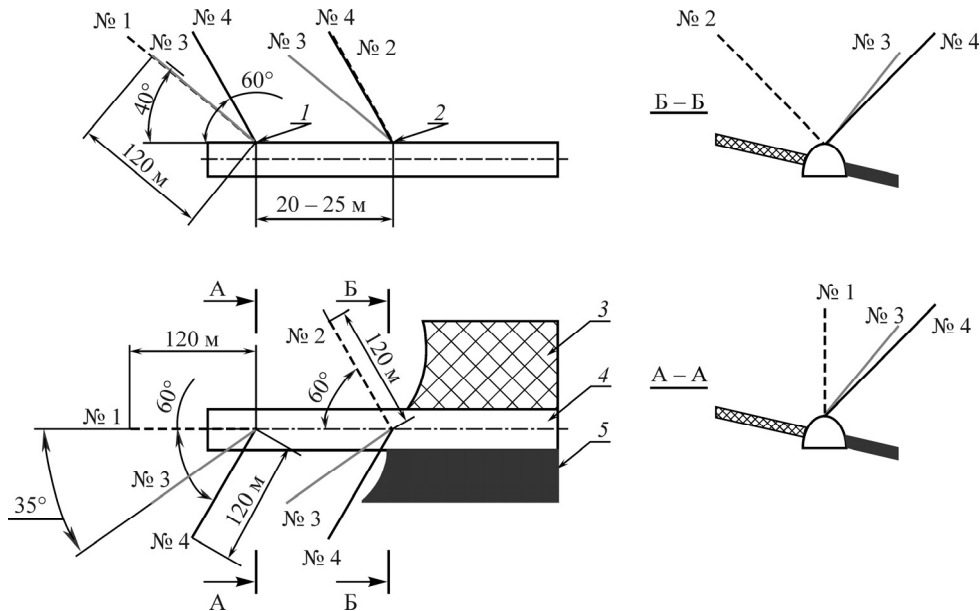


Рис. 1. Схема расположения скважин при дегазации 18-й восточной лавы: 1, 2 — виды “кустов” скважин; 3 — выработанное пространство отработанной ранее 17-й восточной лавы; 4 — вентиляционный штрек 18-й восточной лавы; 5 — разрабатываемый угольный пласт m_3 ; № 1–№ 4 — типы скважин

Представленные графики (рис. 2) характеризуют изменение концентрации метана во всех одновременно работающих скважинах, расположенных на различных расстояниях от начала участка в определенные дни их эксплуатации, т. е. относятся к работе участковой дегазационной сети в целом.

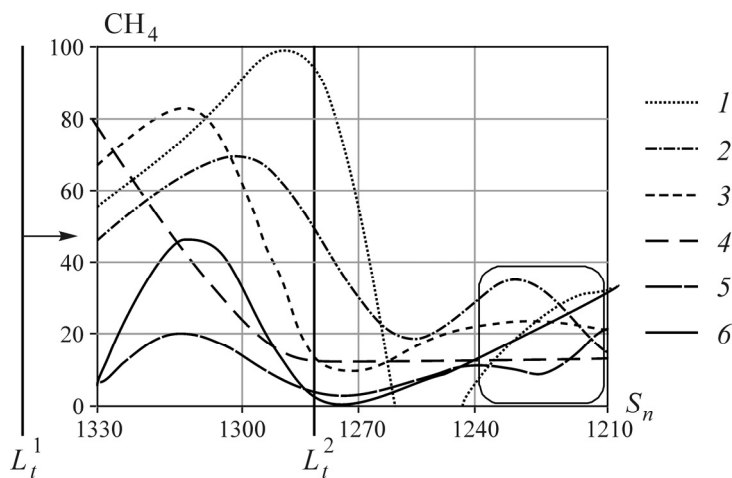


Рис. 2. Динамика концентрации метана (CH_4 , %) от расстояния до начала участка (S_n , м): L_t^1 и L_t^2 — положение линии очистного забоя на момент начала и окончания наблюдений; 1–6 — концентрация метана в скважинах, находившихся на различном удалении от начала участка, измеренная в 120, 116, 110, 106, 100 и 92-й день проведения замеров соответственно

График 5 показывает, что в 100-й день работа дегазационной системы была недостаточна надежной. Кроме того, следует отметить, что значение и расположение максимума концентрации метана не постоянны и меняются с течением времени. На этот процесс наибольшее влияние оказывают величина пролета и расстояние до лавы. Поскольку концентрация напряжений в зоне опорного давления с увеличением длины пролета возрастает, то концентрация метана в скважинах должна снижаться. На расстоянии 1240–1210 м от начала участка (зона протяженностью 30 м) для большинства дней характерно наличие локального максимума концентрации метана. При этом для скважины, расположенной на пикете 1210 м, расстояние до лавы на момент начала и окончания наблюдений составляло от 133 до 70 м, а для скважины на пикете 1240 м — от 103 до 40 м. Максимум динамического опорного давления для рассматриваемых условий располагался в 40–50 м впереди лавы и эта часть пласта (см. скругленный прямоугольник на рис. 2) находился за зоной опорного давления.

На рис. 3 показана динамика концентрации метана в каждой конкретной скважине, расположенной на определенном расстоянии от начала участка, за время проведения замеров.

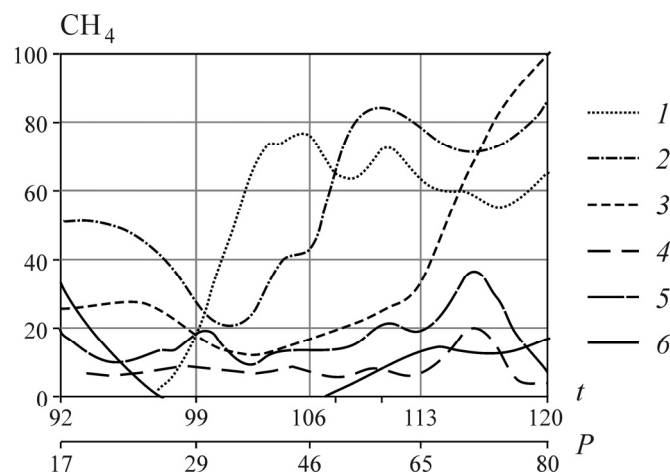


Рис. 3. Динамика концентрации метана (CH₄, %) от времени проведения замеров (*t*, дней): *P* — расстояние от начала отработки запасов до линии очистного забоя в каждый момент времени, м; 1–6 — изменение концентрации метана за исследуемый период времени в каждой скважине, находившейся на удалении 1330, 1310, 1290, 1240, 1220 и 1210 м от начала участка

С увеличением пролета кровли изменение газовыделения (по графикам 4–6) в зонах локальной разгрузки угленородного массива происходит волнообразно с преобладающей тенденцией к росту при приближении зоны опорного давления. Более разгруженная область массива располагается ближе к зоне опорного давления и переходит в менее разгруженное состояние по мере удаления от нее.

ВЫВОДЫ

Для обеспечения надежности дегазационных скважин необходимо уточнение комплекса мероприятий по повышению их устойчивости в течение всего срока эксплуатации.

Проявляющиеся в показателях работы дегазационных скважин волнообразные изменения напряженно-деформированного состояния пласта и вмещающего массива впереди движущегося очистного забоя, подобные геомеханическим процессам в окрестности подготовительной выработки, порождают области, в которых происходит распад твердого газоугольного раствора и повышение притока газа в дегазационные скважины.

Работе дегазационных скважин присущи локальные спады концентрации метана, вызванные знакопеременными изменениями НДС массива при техногенном изменении внешних условий.

Полученные результаты могут служить основой для корректировки мероприятий по повышению устойчивости и надежности работы дегазационных скважин и технологической схемы комплексной дегазации при ведении очистных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **СОУ 10.1.00174088.001.-2004.** Дегазация угольных шахт. Требования к способам и схемам дегазации. — Киев: Минтопэнерго Украины, 2005.
2. **СОУ-П 10.1.00185790.014: 2009.** Технологічні схеми відпрацювання газоносних пластів з великими навантаженнями на очисні вибої. — Киев: Мінвуглепром Україні, 2010.
3. **Руководство** по наилучшей практике эффективной дегазации источников метановыделения и утилизации метана на угольных шахтах // Организация Объединенных Наций. — Нью-Йорк; Женева, 2010. — № 31.
4. **Бредле Э.** Влияние каптажа метана на очистные работы // Глюкауф. — 1974. — № 9.
5. **Коппе У., Штегманс В.** Улучшение каптажа газа путем целенаправленного уплотнения става обсадных труб // Глюкауф. — 1977. — № 22.
6. **Ноак Г.** Результаты исследований в области борьбы с газом // Глюкауф. — 1979. — № 4.
7. **Creedy D., Garner K.** Handbook on the effective design and management of firedamp drainage for UK coal mines, Contract research report on health and safety executive, Newcastle-under-Lyme Staffordshire, 2001, No. 326.
8. **Black D., Aziz N.** Actions to improve coal seam gas drainage performance, 11-th Underground Coal Operators' Conference, Wollongong: University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2011.
9. **Дрибан В. А.** Механизм образования зоны необратимых деформаций вокруг выработок // Сб. науч. тр. “Проблеми гірського тиску”. — Донецк: ДонНТУ, 2010. — № 18.
10. **Костенко В. К., Зинченко Н. Н., Бригида В. С.** Исследование выхода из строя дегазационных скважин при отработке выемочного столба // Екологічні проблеми топливно-енергетичного комплексу, (18-19 травня 2010 р, Донецьк): Збірник матеріалів до регіональної наукової конференції аспірантів і студентів. — Донецк: ДонНТУ, 2010.
11. **Назимко В. В., Брюханов П. А., Демченко А. И.** Исследование связи между деформацией дегазационных скважины и ее аэродинамическими параметрами // Сб. науч. Тр. “Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах”. — Макеевка: МакНИИ, 2010. — № 2 (26).
12. **Алексеев А. Д., Зайденварг В. Е., Синолицкий В. В.** Новые представления о фазовом состоянии метана в угле // 24-я Междунар. конф. НИИ по безопасности работ в горной промышленности: сб. докл. — Донецк, 1991. — Ч. 1.
13. **Андреев М. М.** Формирование системы аэродинамически связанных трещин породного массива // Разработка месторождений полезных ископаемых: Респ. межвед. науч.-техн. сб. — Киев: Техника, 1988. — Вып. 81.
14. **Открытие № 400 СССР.** Явление зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок / Е. И. Шемякин, М. В. Курленя, В. Н. Опарин, В. Н. Рева, Ф. П. Глушихин, М. А. Розенбаум // Оpubл. в БИ. — 1992. — № 1.
15. **Костенко В. К., Зинченко Н. Н., Бокий А. Б., Бригида В. С.** Взаимосвязь разряжения и концентрации метана в дегазационном трубопроводе // Вісті Донецького гірничого інституту. — Донецк: ДонНТУ, 2010. — Вып. 1.

Поступила в редакцию 29/VII 2013