

УДК 622.831.322:622.831.325

АВТОМОБИЛЬНОМУ ТРАНСПОРТУ И ПРОМЫШЛЕННЫМ  
ПРЕДПРИЯТИЯМ – АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ТОПЛИВО

Воробьев Е.А., к.т.н.<sup>1</sup>, Силин Д.П., к.т.н.<sup>2</sup>, Софийский К.К., д.т.н.<sup>2</sup>,  
Нечитайло В.А.<sup>2</sup>, Чередников В.В.<sup>3</sup>

1 – АДИ ДонНТУ, г. Горловка, 2 – ИГТМ НАНУ, г. Днепропетровск,

3 – АП «Шахта им. А.Ф. Засядько», г. Донецк

*Обоснована интенсификация добычи газа метана угольных шахт для заправки автомобилей и для промышленных предприятий. Представлены результаты горно-экспериментальных работ по интенсификации дегазации горного массива с применением гидродинамического воздействия через подземные скважины и пневмогидродинамического воздействия через поверхностные скважины для добычи и утилизации метана угольных месторождений.*

***Проблемы дегазации угольных месторождений***

В связи с ежегодным увеличением стоимости природного газа и жидкого топлива для заправки автомобилей возникла необходимость его замены альтернативным топливом, которым может быть метан угольных шахт.

В последние десятилетия метан угленосных отложений рассматривается как перспективный энергоноситель. В пересчете на условное топливо он занимает четвертое место после угля, нефти и природного газа. Однако около 80% шахтного метана на сегодняшний день выбрасывается в атмосферу с вентиляционной струей шахты с концентрацией до 1%. А одним из важных показателей эффективности использования метана является его количество в метановоздушной смеси дегазационной системы. В Украине каптирование (улавливание) и использование шахтного метана могут существенно сократить объемы его выделения в атмосферу угольными предприятиями. В 2004 г. в результате работы угольных предприятий выделилось 1221 млн. м<sup>3</sup> метана. Из этого объема около 357 млн. м<sup>3</sup> (29%) каптировано системами дегазации шахт и лишь 179 млн. м<sup>3</sup> было использовано. Таким образом, около 1042 млн. м<sup>3</sup> выброшено в атмосферу [1]. Кроме того, каптированный газ может быть использован для теплоснабжения и электроснабжения. Сжиженный шахтный метан как местный и экологически чистый вид моторного топлива может применяться для заправки автомобилей. Заправочные станции на основе криогенных машин Стирлинга и недорогих высоконадежных систем для автомобилей с предлагаемыми криогенными баками устраняют все препятствия для заправки автотранспортных средств [2]. Опыт использования метана как топлива для автобусов, легковых и грузовых автомобилей имеется на двух предприятиях Донбасса. Так, в частности, на АП «Шахта им. А.Ф. Засядько» в настоящее время каптируемый газ используется как для нужд самого предприятия, так и для заправки около 100 автомобилей ежедневно (около 1 млн. м<sup>3</sup> в год). Для этого на поле шахты ежегодно бурятся 3-4 поверхностные

дегазационные скважины, ведутся работы по дегазации через подземные скважины и по дегазации выработанного пространства. Объем добычи чистого метана составляет 2-2,5 млн. м<sup>3</sup> в год. Однако эффективность предварительной дегазации подземными скважинами снижается из-за увеличения глубины разработки, что приводит к уменьшению природной газопроницаемости массива, и повышению темпов ведения горных работ и составляет, как правило, 10-20%. Кроме того, в процессе эксплуатации поверхностных дегазационных скважин их газоотдача со временем снижается. Так, запасы газа в пределах радиуса влияния одной скважины (130-180 м) для условий пластов  $m_3$  и  $l_1$  АП «Шахта им. А.Ф. Засядько» составляют до 10-15 млн. м<sup>3</sup>. Средняя газоотдача работающей скважины составляет 1-2 млн. м<sup>3</sup>, а иногда достигает 3-5 млн. м<sup>3</sup> метана. Однако в окрестностях скважины, протекают процессы (в том числе и многостадийные процессы горного давления, возникающие в подработанной толще пород), которые приводят к снижению и закупорке естественной и техногенной трещиноватости, изоляции еще недегазированной части массива от ствола скважины и, в конечном итоге, прекращению функционирования поверхностной скважины, как правило, еще задолго до истощения газового потенциала массива. Решение проблемы интенсификации дегазации позволит не только увеличить объемы использования метана как энерго- и теплоносителя, но и сократить выбросы его в атмосферу. Согласно рамочной конвенции ООН по изменению климата метан принадлежит к «парниковым газам», а для выполнения требований Киотского протокола Украине необходимо не превышать средние выбросы с 2008 по 2012 г. В ИГТМ НАН Украины ведутся работы по созданию способов интенсификации дегазации, как через подземные, так и через поверхностные скважины в рамках выполнения тем «Механика газонасыщенного массива горных пород, прогрессивные техника и технологии подземной добычи угля» и «Создать научные основы пневмогидродинамического воздействия на газонасыщенный горный массив для добычи метана угольных месторождений».

### ***Анализ исследований последних лет***

Интенсивно исследования по снижению выбросов метана в атмосферу и его использованию ведутся в США, России, Китае, Польше, Германии [3] и других угледобывающих странах. Разрабатываются методы повышения проницаемости массива и производительности скважин. В последние годы предложено применение котловых скважин, которое значительно эффективнее гидроразрыва угольного пласта [4], способа извлечения метана из угольных пластов силовым гидро-пневмодинамическим воздействием в режиме кавитации с использованием геоэнергии массива горных пород [5] и др.

### ***Актуальность интенсификации дегазации***

Опыт дегазации горного массива и извлечения метана как из неразгруженных угольных пластов и пород, так и из подрабатываемой углевлещающей толщи показывает взаимосвязь геологических, геомеханических и технологических условий отработки шахтного поля. Применение известных методов дегазации и ее интенсификации, используемых за рубежом, не всегда эффективно и экономически выгодно, а во многих случаях и невозможно ввиду

горно-геологических особенностей залегания и горнотехнических особенностей разработки угольных пластов Донецкого бассейна. Поэтому создание и применение способов повышения притока метана в дегазационные скважины и увеличение его концентрации в метановоздушной смеси позволит увеличить долю шахтного метана в энергетическом обеспечении страны, снизить выбросы метана в атмосферу и повысить безопасность ведения горных работ.

### ***Цель исследований***

Целью работы является установление рациональных параметров способов интенсификации дегазации горного массива через скважины, пробуренные из подземных горных выработок, и скважины, пробуренные с поверхности.

### ***Способы интенсификации дегазации гидродинамическим и пневмогидродинамическим воздействиями***

Гидродинамическое и пневмогидродинамическое воздействия основаны на иницировании трещинообразования горных пород в обрабатываемой зоне с использованием энергии горного массива и находящегося в нем газа.

Сущность воздействий заключается в приложении к свободным поверхностям угольного пласта циклических знакопеременных нагрузок, что обеспечивается поочередным созданием и сбросом давления рабочей жидкости в обрабатываемой скважине.

При гидродинамическом и пневмогидродинамическом воздействиях в горном массиве возникает единая совокупность сложных, взаимосвязанных, одновременно протекающих процессов, в результате которых происходит разрушение угля в прискважинной зоне и вынос угля в скважину, разупрочнение угля в последующих за разрушенным слоях, перераспределение сил горного давления и дегазация обрабатываемой зоны за счет десорбции метана и его интенсивной фильтрации. При этом образование новых поверхностей обнажения вызывает стремительную десорбцию газа.

Способы гидродинамического и пневмогидродинамического воздействий технологичны, не требуют сложного оборудования и не производят вредного воздействия на окружающую среду.

Для реализации воздействий применяются насосная установка для нагнетания воды в скважину, разработанное ИГТМ НАН Украины устройство УВГ, которое обеспечивает изменение параметров и режимов воздействия в зависимости от свойств пласта, и масляный насос для управления устройством УВГ.

Принцип и средства гидродинамического и пневмогидродинамического воздействий защищены авторскими свидетельствами и патентами и апробированы более чем на 20 шахтопластах Донбасса.

Для проведения воздействий скважину обсаживают и герметизируют, на фланец обсадной трубы устанавливают устройство гидродинамического воздействия, монтируют оборудование для нагнетания воды и управления процессом воздействия (рис. 1, 2).

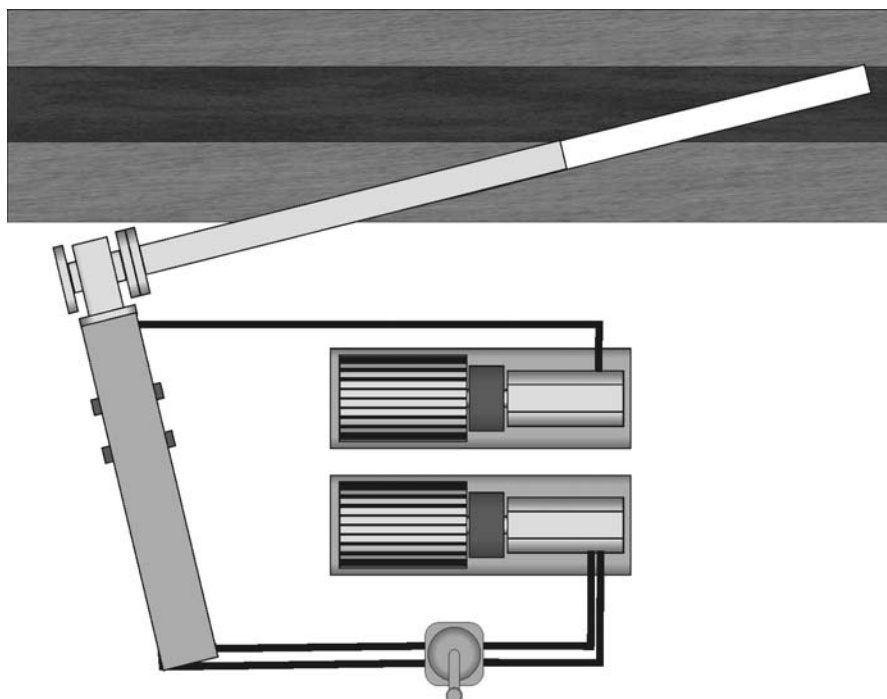


Рис. 1. Размещение оборудования для гидродинамического воздействия

При гидродинамическом воздействии в скважину нагнетают рабочую жидкость (воду) до создания в системе заданного давления, затем производят сброс давления до значений, определяемых условиями процесса, вследствие чего происходит разрушение угольного пласта и его интенсивная дегазация.

При пневмогидродинамическом воздействии после заполнения до определенного уровня скважины водой в скважину нагнетают сжатый воздух, а дальнейшее воздействие аналогично гидродинамическому.

Разрабатываемые способы предусматривают дистанционное управление процессами и воздействия и газовой обстановкой в атмосфере подготовительных выработок.

Работы по интенсификации дегазации обрабатываемого угольного пласта через скважины, пробуренные из подземных выработок, проводились в 10 и 11 западных конвейерных штреках пласта  $l_1$  (гор. 1070 м) АП «Шахта им. А.Ф. Засядько». Угольный пласт  $l_1$  сложного строения, марки «К», имеет нарушенную структуру, мощностью от 1,70 до 1,98 м. Угол падения – 10-12°. Природная метаноносность - 22-24 м<sup>3</sup>/т с.б.м. Пласт опасен по пыли, газу, суфлярным выделениям метана и внезапным выбросам угля и газа, склонен к самовозгоранию.

Для проведения работ на угольный пласт через породы почвы бурились технологические скважины диаметром 59 мм с последующим последовательным разбуриванием на 100 и 150 мм. Длина скважин по породе составляла около 10,5 м, а по углю – от 24 до 90 м. Производилась обсадка и герметизация породной части скважины

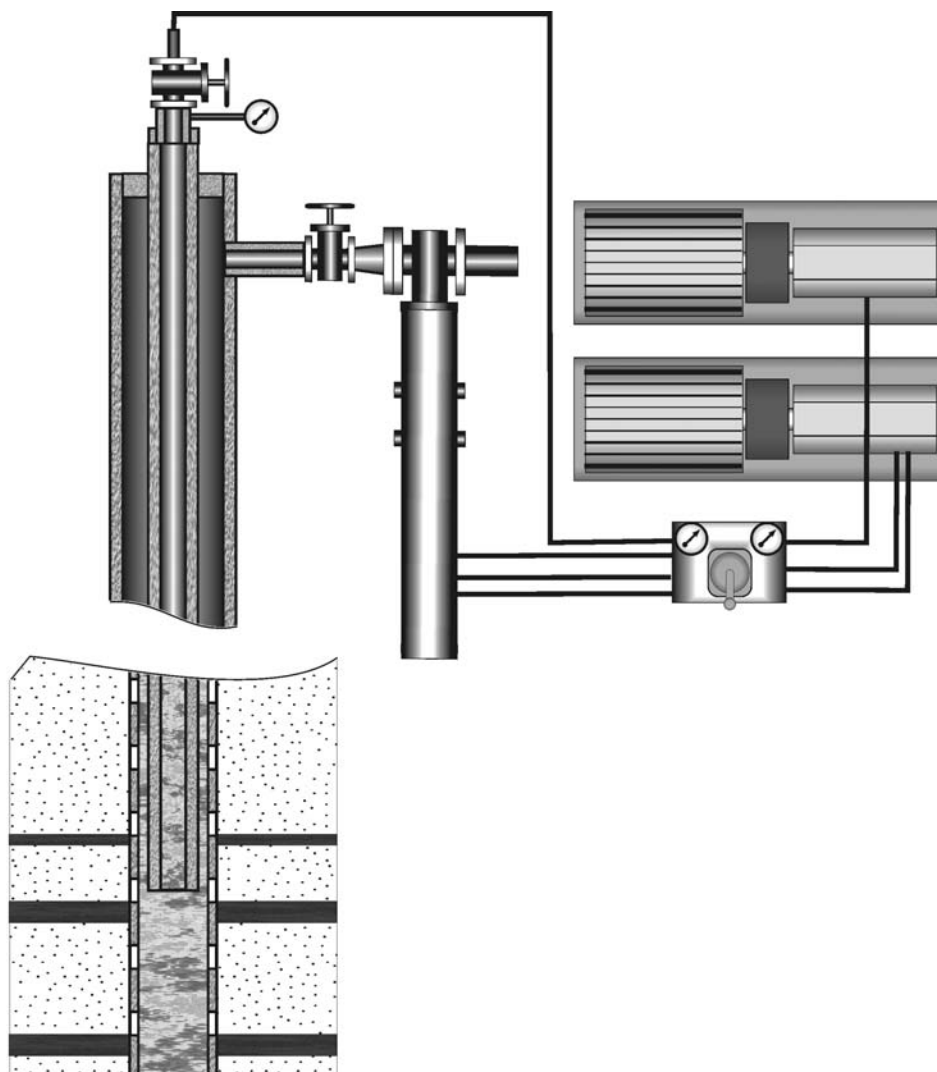


Рис. 2. Размещение оборудования для пневмогидродинамического воздействия

В результате проведенных работ из шести технологических скважин длиной до 100 м было извлечено в среднем по 25 т угля, а в дегазационный став поступило более 500 тыс. м<sup>3</sup> газа, что составляет около 2% расчетного количества газа в обрабатываемой зоне. Дальнейший выход газа из скважин производился в общешахтный дегазационный став. Радиус влияния гидродинамического воздействия через одну скважину составляет более 30 м, а значения коэффициентов эффективности дегазации находились в пределах от 30 до 70% в зависимости от параметров воздействия.

Изменение акустической эмиссии угольного пласта показало соответствие увеличения шумности в массиве при выполнении гидродинамического воздействия. Максимальная амплитуда превышала значения, полученные до начала воздействия в 9 раз. При выпуске воды из скважины амплитуда непрерывно снижалась и за 20 мин достигла своего первоначального значения. После подключения скважины к дегазационному ставу и ее вакуумированию амплитуда возрастала за 20 мин в 6 раз и составляла 70% максимально достигнутой.

Работы по пневмогидродинамическому воздействию на подработанную (неподработанную) углегазонасную толщу пород, вскрытую поверхностной дегазационной скважиной с целью интенсификации притока газа, проводились на скважинах МТ-336 и МТ-338. Результаты расчетов давления нагнетания в зависимости от времени сброса приведены на рис. 3.

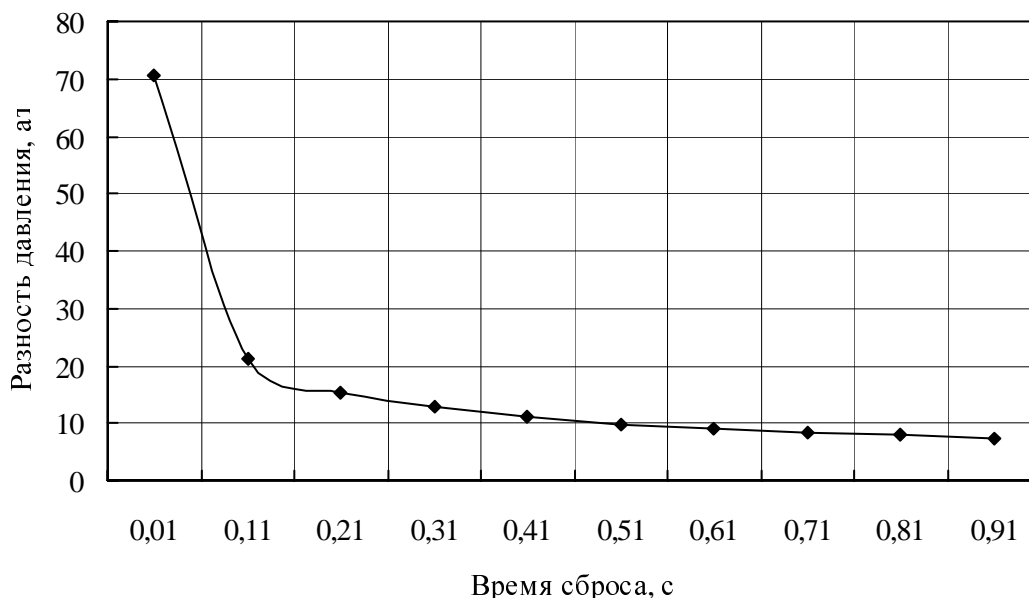


Рис. 3. Зависимость величины перепада давления на стенках скважины от времени сброса

Как видим, для создания градиента давления на стенках скважины более 10 МПа необходимо, чтобы время сброса давления не превышало 0,5 с.

Для создания рабочего давления в скважинах на расстоянии 30 м от устья был установлен компрессор, который при помощи рукавов высокого давления подключался к ставу НКТ и к обсадной трубе. При начальном уровне воды в скважинах компрессором высокого давления в течение 3-4 ч была произведена закачка воздуха до давления 2-3 МПа одновременно в трубы НКТ и межтрубное пространство. После достижения этого давления было выполнено поэтапное открытие задвижки межтрубного пространства и произведены сбросы давления из межтрубного пространства и выпуск метановоздушной смеси. Концентрация метана после выпуска составляла 80-90%. В дальнейшем происходили периодические выбросы газа в атмосферу от 250 до 500 м<sup>3</sup>. После свабирования скважин было зафиксировано увеличение давления газа в них (рис. 4) и скважины были подключены к дегазационному трубопроводу. При этом дебит скважин за весь исследуемый период неуклонно увеличивался (рис. 5). Минимальная скорость нарастания давления составляла 0,6 МПа/сут. После проведения воздействия дебит газа увеличился до 2,5-10 тыс.м<sup>3</sup>/сут. и скважины были подключены к дегазационному трубопроводу. Для достижения стабильного дебита газа и продления максимально возможного срока службы этих скважин давление в ней поддерживалось в пределах 0,4-1,0 МПа.

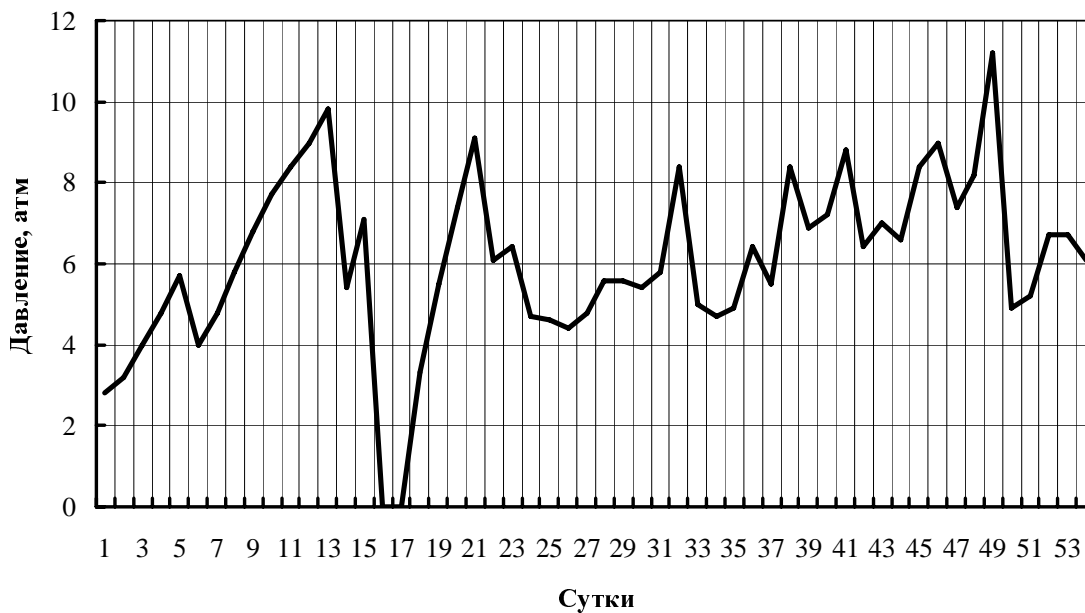


Рис. 4 – Динамика нарастания давления в поверхностных дегазационных скважинах

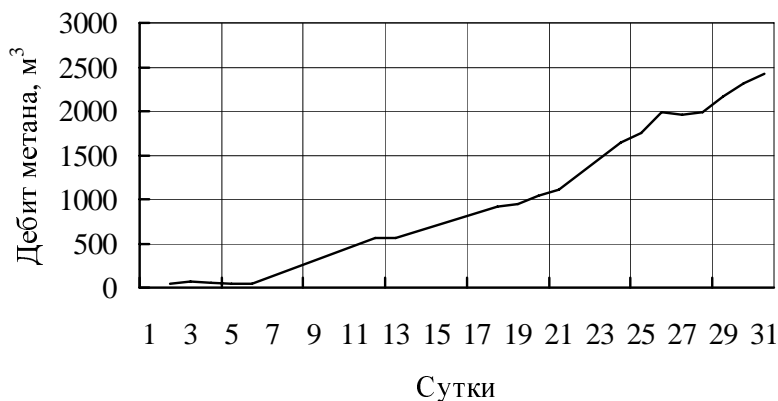


Рис. 5. Динамика нарастания дебита метана скважины МТ-336

### **Выводы**

Применение гидродинамического и пневмогидродинамического воздействий позволяют интенсифицировать дегазацию горного массива и осуществить добычу шахтного метана с необходимой концентрацией его в метановоздушной струе через скважины, пробуренные из подземных горных выработок и с дневной поверхности.

Быстрая десорбция газа обуславливает его высокое давление на устье скважины и обеспечивает его высокую концентрацию в ставе при добыче шахтного метана.

Удельное газовыделение достигает  $1\ 000\ \text{м}^3$  на каждый погонный метр скважины, пробуренной из подземных горных выработок.

Применение воздействия позволяет произвести разгрузку и дегазацию значительной площади массива при сравнительно небольшом объеме работ, производимых в достаточно короткие сроки, раскольматировать заглохшие

поверхностные дегазационные скважины и снизить себестоимость угля путем повышения нагрузки на забой по газовому фактору (в 1,3-1,5 раз), повысить эффективность предварительной дегазации, уменьшить время на ее проведение, снизить поступление метана в горные выработки из породно-угольного массива и повысить скорость газовыделения из угольного пласта и пород более чем в 10 раз. Повышение концентрации метана в дегазационном ставе позволяет использовать метан как альтернативный вид топлива. При этом снижаются выбросы метана в атмосферу, и повышается безопасность ведения горных работ.

Применение различных параметров и режимов воздействия позволяет достигнуть необходимой степени дегазации горного массива, необходимой концентрации метана в дегазационном ставе и обеспечения допустимых концентраций метана в горных выработках.

Глубина разрушения угля за один цикл воздействия составляет 0,5-0,6 м.

Площадь участка дегазированного и разгруженного одной скважиной составляет 750-1000 м<sup>2</sup>.

#### Литература

1. В.Г. Красник, О.С. Торопчин Состояние и перспективы добычи шахтного метана в Украине. Уголь Украины, №11, 2005, С.19-18.

2. С.В. Кузяра, И.Д. Дроздник, Ю.С. Кафтан, Ю.Б. Должанская Извлечение шахтного метана и защита окружающей среды. Уголь Украины, №6, 2005, С.13-15.

3. Использование газа из угольных шахт // World Coal. 2001. - У. 10.- №12.- Р. 59-63.

4. Основные параметры, определяющие производительность скважины по метану / Shi J.Q., Durucan S., Sinko I.C. // Int. J. Coal Geol. - 2002. - 49, №1.- С. 19-31.

5. Разработка технологии извлечения метана из угольных пластов в режиме кавитации с использованием геоэнергии массива / Сластунов С.В., Фейт Г.Н. // Материалы I международной конференции «Ресурсопроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр», Москва, 16-18 сентября, М., Изд-во РУДН, 2002. - С. 105-106.