

УДК 622.831.325

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ РАСЧЁТА ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ В ВЫЕМОЧНЫЙ УЧАСТОК С УЧЁТОМ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ И ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ

Шубина Елена Андреевна,

аспирант кафедры транспорта и хранения нефти и газа Института природных ресурсов Томского политехнического университета, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30; зам. директора по геологическому обеспечению ЗАО «Сибгеопроект», Россия, 650066, г. Кемерово, пр. Октябрьский, д. 28б. E-mail: Lena_shubina@mail.ru

Лукьянов Виктор Григорьевич,

д-р техн. наук, профессор-консультант кафедры транспорта и хранения нефти и газа Института природных ресурсов Томского политехнического университета, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: lev@tpu.ru

Актуальность работы вызвана сложностью прогнозирования газодинамических процессов и их влияния на газовыделение в выемочный участок при отработке газоносных угольных месторождений, а также необходимостью использования горношахтного оборудования в соответствии с заявленной производительностью, исключая простои оборудования по газовому фактору в процессе добычи угля.

Цель работы: изучение процесса сдвижения углепородной толщи пологого падения, формирование газодинамических явлений и выявление проблемных вопросов расчёта газовыделения при отработке угольных месторождений с целью обеспечения безопасности добычи угля и метана в промышленных масштабах.

Авторы изучили геомеханические и газодинамические процессы, возникающие во время ведения горных работ при отработке газоносных угольных месторождений. Рассмотрены проблемные вопросы расчёта газовыделения в выемочный участок. Предложены методы снижения природной газоносности к моменту начала ведения горных работ, в части комплексного подхода к схеме размещения геологоразведочных скважин на стадии составления проекта разведочных работ, и использование данных скважин для различных видов дегазации угольных пластов и добычи метана в промышленных масштабах. Выполнение предложенных методов позволит исключить возможность внезапного загазирования горных выработок и обеспечит безопасность ведения горных работ на угольных шахтах.

Результаты. Заблаговременная дегазация рабочих пластов и пластов спутников с помощью геологоразведочных скважин до начала отработки месторождения подземным способом позволит существенно снизить газовыделение в подготовительный забой и выемочный участок, обеспечивая безопасную добычу газа и угля. Использование геологоразведочных скважин в качестве дегазационных снижает затраты на проведение мероприятий по снижению природной газоносности, а также позволяет вести самостоятельную добычу метана в промышленных масштабах.

Ключевые слова:

Метан, природная газоносность, скважина, дегазация, безопасность горных работ, выделение газа, газодинамические процессы, угольный пласт, выемочный (очистной) участок.

В связи с развитием угледобывающей промышленности неизбежно происходит увеличение глубины ведения горных работ, следовательно, и увеличение природной газоносности разрабатываемых угольных пластов, что существенно влияет на безопасность ведения работ, объёмы добычи угля, попутно добытого газа и загрязнение окружающей среды.

Высокая природная газоносность создаёт настолько повышенное метановыделение в выработанное пространство и горные выработки, что её снижение возможно только с применением комплексной дегазации угольных пластов, т. е. совмещения различных способов или схем дегазации одного или нескольких источников газовыделения.

К методам дегазации, позволяющим снижать природную газоносность до начала ведения очистных работ, относятся: барьерная и предварительная дегазация. Также к данным методам относится недостаточно применяемая в России заблаговременная дегазация [1].

Проблемы горнодобывающих предприятий, связанных с газоносностью угольных месторождений, изучаются многими научными институтами России, но сложность горно-геологических условий и процесса добычи угля, сопровождающегося обильным газовыделением, обязывает нас ещё более тщательно заниматься данными проблемами.

На сегодняшний день подтверждена необходимость системного решения проблем угольного метана (энергетической, экологической и промышленной безопасности) для обеспечения возможности включения шахтного метана в топливно-энергетический баланс; прогноз и проектирование добычи метана из шахтных полей должны проводиться с учетом особенностей его извлечения на разных стадиях освоения месторождений.

Энергетической стратегией России до 2030 г. предусматривается сокращение доли природного газа как топлива в большой электроэнергетике и замещение его углём, указывается на необходи-

мость создания экологически чистых, высокоэффективных газопаротурбинных установок комбинированного цикла с внутрицикловой углегазификацией. Газификация угля – технологическая основа концепции и является одним из возможных технологических решений [2].

При подземной газификации угля сырой газ обладает теплотворной способностью 10–11 МДж/м³, на базе такого газа возможно получение заменителя природного газа [3].

Однако анализ текущего состояния и перспектив российского топливно-энергетического комплекса указывает на угрожающе надвигающееся истощение «газовой манны» и необходимость в ближайшем десятилетии перехода от газовой стратегии к газовоугольной, а в дальнейшем и к углегазовой [4]. В данной ситуации не малая роль будет отведена добыче метана из угольных пластов путём их дегазации.

На сегодняшний день в России уже появились компании активно и успешно занимающиеся энергетическими проблемами, их работы отмечены высокими наградами в США 20 ноября 2013 г. на конференции Total Energy USA, что говорит о том, что инновационные российские разработки по целому ряду показателей – результативности, экономичности, экологической безупречности – превосходят известные зарубежные аналоги [5–7].

Процесс увеличения интенсивности добычи угля влечёт возрастание объемов выделения газа, что делает попутную добычу метана экономически целесообразной при промышленном его использовании.

Важнейшими объектами дегазации в период ведения горных работ и после их окончания являются выработанные пространства, аккумулирующие значительные объемы метана в свободном состоянии. Основная особенность этого источника выделения газа в вентиляционно-дегазационные системы шахт – наличие аэродинамической связи с горными выработками, огибающими зоны обрушения, что позволяет управлять метановоздушными потоками путем перераспределения аэродинамических параметров в вентиляционной сети.

На основе исследований распределения параметров фильтрационных потоков в выработанных пространствах предложены аэродинамические критерии эффективности извлечения метана, определяющие условия извлечения кондиционных метановоздушных смесей из выработанных пространств действующих газообильных угольных шахт [8].

Перспективными участками для производства заблаговременной дегазации на основе гидрорасчленения пласта являются участки с природной газоносностью более 8 м³/т сухой беззольной массы (с.б.м.) и при их залегании в водонепроницаемых породах не ниже средней устойчивости [9–13].

Разработаны технологии ВАГИДЭС и ЛАВО-ПОР, которые являются уникальными и позволя-

ют заблаговременно провести дегазацию массива или его разгрузку от повышенных напряжений, т. е. привести в безопасное состояние массив горных пород на значительных площадях – до 200 тыс. м² (R~500 м) через скважины с поверхности; а через скважины, пробуренные из подземных горных выработок, – до 30 тыс. м² (R~200 м). Принцип работы заключается в следующем: возбуждая в пласте на заданном удалении от скважины упругие волны напряжений, амплитуда которых превышает предельные напряжения сжатия или предельные напряжения упругости, или ведя акустическое возбуждение литологического разреза в пределах упругих напряжений, в результате можно получить пространственные зоны различных его состояний или регулировать механические свойства горной породы по необходимости [14]. Современные технологии заблаговременной дегазации скважинами с поверхности позволяют извлекать 70...90 % общего содержания метана. Имеются случаи извлечения метана со средней природной газоносностью 3...4 м³/т (с.б.м.) [15].

Правительство РФ постановлением № 315 от 25.04.2011 г. установило обязательное проведение дегазации угольных пластов при превышении природной газоносности 13 м³/т с.б.м. В странах с более развитой угольной промышленностью в целях обеспечения безопасных условий труда данный порог уже снижен до 9 м³/т с.б.м. В связи с многочисленными взрывами на угольных шахтах вопрос о снижении порога до 9 м³/т уже рассматривается и в РФ, но пока всё остается без изменений.

Следовательно, в будущем при обработке участков с природной газоносностью 13...30 м³/т с.б.м. заблаговременная дегазация неизбежно перейдет в разряд необходимых мероприятий.

Кроме того, в зависимости от величины относительной метанообильности производится установление категории шахты по метану. Таким образом, согласно п. 267 «ПВ в угольных шахтах», при относительной метанообильности 15 м³/т и более шахту относят к категории «сверхкатегорной» [16].

В таких странах, как Польша, Чехия, Великобритания, уже пересмотрено отношение к выбросам метана в атмосферу и решение данного вопроса направлено в сторону утилизации и использования метана в промышленности.

Существенные изменения в проектировании, разработке и финансировании проектов, выборе оптимальной технологии качества и количества добываемого газа имеются в Германии. Ранее газ из нетронутых пластов в Германии не использовался из-за неблагоприятных условий его извлечения; извлечение метана из действующих шахт диктовалось необходимостью обеспечить безопасность труда шахтеров. На сегодняшний день разработаны технологии добычи и использования метановой смеси из заброшенных шахт [17].

Таким образом, дренаж метана должен обеспечить предотвращение взрывов метана и эффектив-

ное использование добытого газа. Рассматривая теоретические возможности данной задачи и в первую очередь в отношении расположения скважин, необходимо руководствоваться нормативными документами, регламентирующими их количество и глубину [14].

Применяя разведочную сеть в соответствии с «Методическими рекомендациями...» [18] помимо решения задач, поставленных геологическим заданием в соответствии со стадией геологоразведочных работ, можно предусмотреть возможность проведения в дальнейшем и заблаговременной дегазации проектируемого участка с использованием планируемых скважин. Данные скважины необходимо временно консервировать на период составления геологического отчёта, выделения запасов метана и их утверждения.

Количество скважин, их глубина и расположение, конечно же, зависят от многих факторов, которые рассматриваются индивидуально по каждому участку, так же как и направление бурения. Но цель бурения данных скважин не сводится только к геологическому изучению месторождения, она также направлена на дальнейшее использование проектируемых скважин для борьбы с повышенным газовыделением и его источниками.

Основными источниками газы выделения при ведении горных работ являются: угольный пласт, породы кровли, почвы, отбитый уголь, пласты спутники, отщепившиеся угольные пачки и т. д. Учитывая природную газоносность участка недр, согласно «Руководству по проектированию вентиляции угольных шахт» производится расчёт газообильности в горные выработки и выемочные участки [19].

В нетронутом массиве горные породы находятся в состоянии напряженного равновесия. При ведении очистных работ равновесие в массиве нарушается и происходит сложное многообразие не в полной мере изученных процессов. На сегодняшний день имеется несколько гипотез (научных

предположений) о проявлениях горного давления в зонах очистных работ.

Горное давление – это силы (напряжения), возникающие в массиве пород, окружающих горную выработку. Оно проявляется в виде прогиба кровли, вспучивания почвы, растрескивания, сдвижения, деформации и разрушения пород вокруг выработки, раздавливания и отжима целиков угля, увеличения нагрузки на крепь, внезапных выбросах угля и газа, горных ударов и пр.

Горное давление зависит от глубины расположения выработки, физико-механических свойств горных пород (трещиноватости, крепости, управляемости, обрушаемости и т. д.), мощности, угла залегания пластов, размера поперечного сечения выработки, способов выемки угля, механической характеристики крепи и многих других параметров.

Проявление процесса сдвижения и деформирования горных пород над очистными выработками происходит более интенсивно в лавах большой длины со значительной мощностью разрабатываемого пласта при управлении кровлей с полным обрушением. Условная схема процесса сдвижения угленосной толщи пологого падения при очистных работах представлена на рисунке.

В результате изучения горного давления и механики сдвижения горных пород над очистной выработкой установлено, что перемещение напластований горных пород кровли пласта начинается с прогиба, расслоений и появления зон повышенных деформаций – растяжений, сжатий. Когда деформации достигают предельных значений, слои кровли обрушаются, заполняя выработанное пространство. Вместе с тем метан, находящийся в сорбированном состоянии в угленосном массиве, высвобождается и заполняет возникшие пустоты и трещины.

Самое опасное динамическое воздействие оказывает зона активного горного давления от действующих очистных забоев в радиусе не менее 250 м от забоя во всех направлениях. Свободный

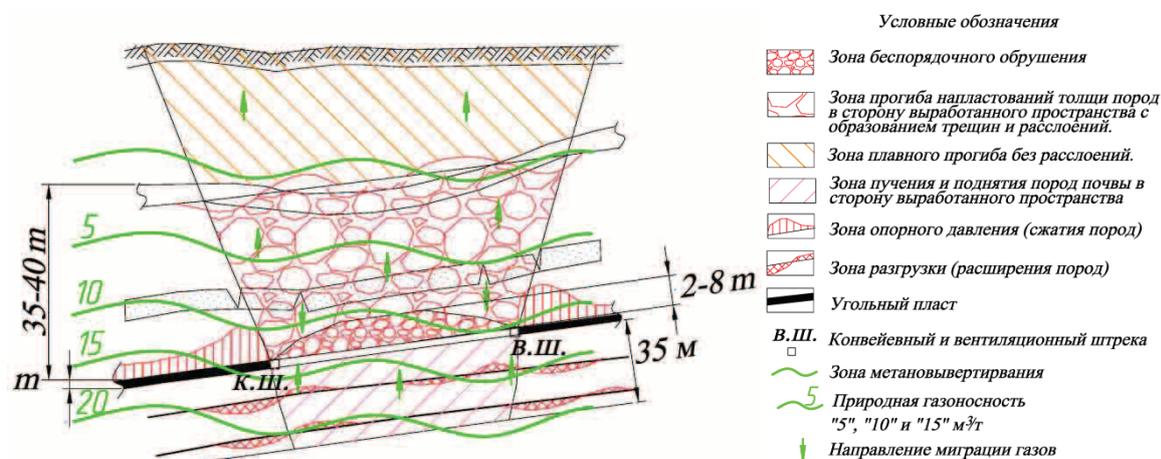


Рисунок. Условная схема процесса сдвижения угленосной толщи пологого падения при очистных работах

Figure. Diagram of coal-rock flat pitch strata shift at broken working

газ, находящийся под высоким давлением в замкнутом пространстве, является основным источником энергии, вызывающим возникновение внезапных выбросов угля и газа в шахтах.

Внезапные выбросы при приближении забоя к опасным зонам происходят в результате совокупного разрушающего действия на призабойную часть пласта газового и переменного во времени повышенного горного давления, максимум которого приходится на момент обрушения основной кровли. Чем больше давление газа и мощность пласта, тем больше должно быть расстояние от забоя до границы опасной зоны.

Процессы обрушения основной кровли, сдвигание горных пород и сопутствующие им объёмы газовыделения имеют периодический характер с общим, единым периодом, который определяется шагами обрушения основной кровли [20]. В некоторых случаях, когда в кровле разрабатываемого пласта залегают пласты спутники или отщепившиеся угольные пачки, газовыделение становится настолько обильным, что концентрация метана мгновенно повышается до взрывоопасных значений, что приводит к остановке ведения очистных работ в связи с загазированием горных выработок.

При дальнейшем развитии процесса разгрузки обрушившиеся породы становятся опорой для вышележащих прогибающихся пород. По мере удаления от выработанного пространства вверх по нормали сдвигание пород приобретает более плавный характер деформаций-растяжений, сжатий, трещиноватость исчезает, сменяясь прогибом пород без развития сплошности и расслоений.

Для расчета шага обрушения основной кровли на сегодняшний день разработаны различные методики. Но в связи с тем, что в расчётах используется сочетание ряда геолого-технологических составляющих, таких как: крепость пород, объёмный вес, мощность пород кровли, вынимаемая мощность, скорость подвигания очистного забоя и т. д., при получении фактических данных о посадке кровли возникают некоторые расхождения с расчётными показателями.

Причиной этого могут служить в первую очередь производственные нюансы, влияющие на скорость подвигания очистного забоя, а также изменение физико-механических свойств горных пород и мощности пород кровли в теле лавы, особенно в очистных забоях, имеющих большую длину. Так как формирование опасных зон, представленных на рисунке, напрямую зависит от технологии и

скорости подвигания очистного забоя, то и их расчёт может стать достоверным только при стабильном плановом подвигании очистного забоя, которое учитывалось при расчёте газовыделения.

Из геологических факторов на увеличение газовыделения в выработанное пространство в первую очередь влияет газовыделение от отщепившихся угольных пластов и пластов-спутников, залегающих в кровле разрабатываемого пласта на расстоянии 35–40 вынимаемых мощностей, а также угольных пластов, залегающих в почве разрабатываемого пласта до глубины 35 м от почвы разрабатываемого пласта. Особенно сложно рассчитать газовыделение с таких пластов и пропластков, если в границах тела лавы значительно изменяется расстояние от разрабатываемого пласта до источника газовыделения.

Заключение

Таким образом, изменение геологических условий, технических возможностей в части стабильности подвигания очистного забоя и периодическая посадка основной кровли являются причинами, создающими погрешность в расчете общего газовыделения в выемочный участок. То есть геомеханические и газодинамические процессы, возникающие в результате ведения горных работ, являются взаимосвязанными процессами и представляют собой сложно прогнозируемую систему.

Увеличение природной газоносности угольных пластов и пропластков, низкий коэффициент эффективности предварительной дегазации и обильное газовыделение в выемочный участок обязывают научные и проектные институты уделять особое внимание обеспечению безопасности угледобычи.

Для решения проблемы снижения высокой природной газоносности к моменту начала ведения горных работ по пласту предлагается внедрение заблаговременной дегазации участка с применением геологоразведочных скважин, намеченных к бурению при производстве разведочных работ по проектируемому участку. Используя разведочные скважины в сочетании с различными схемами заблаговременной дегазации и методами возвышения газоотдачи, можно существенно снизить природную газоносность, а также обеспечить безопасные условия труда, так как возникает возможность дегазировать не только угольные пласты, имеющие рабочую мощность, но и пласт-спутники, пропластки и отщепившиеся угольные пачки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шубина Е.А., Брылин В.И., Лукьянов В.Г. Проведение заблаговременной дегазации угольных пластов с использованием геологоразведочных скважин // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 324. – № 1. – С. 167–173.
2. Воробьев Б.М., Васючков Ю.Ф., Быкова М.Ю. Инновационная синэнергетическая высокоадаптивная и глубоко конверсионная концепция развития углегазовой энергетики России // Уголь. – 2012. – № 2. – С. 62–66.
3. Зоря А.Ю., Крейнин Е.В., Лазаренко С.Н. Новые возможности // Уголь Кузбасса. – 2009. – № 4. – С. 74–77.
4. Vasyuchkov Yu., Vorobjev B., Vasyuchkov K. Unconventional mining technologies for clean and efficient power generation // Mining Engineering. – 1998. – April. – P. 65–69.
5. Агеев П.Г., Стрельченко В.В., Агеев Н.П. Инновационная российская нанотехнология дает вторую жизнь бездействующим нефтяным и метанугольным скважинам в США, Китае и России // Недропользование. – 2014. – № 1. – С. 26–31.

6. Нефть, Газ и Бизнес 9'2013. Бездействующие скважины и метаноугольные пласты – объекты применения инновационной российской технологии в США и Китае // Novas Energy Service. 2009. URL: <http://novas-energy.ru/content/articles/index.php?article=3315> (дата обращения: 09.04.2014).
7. Агеев П.Г., Стрельченко В.В. Казанцев О.Е. Интенсификация потока метана из угольных пластов методом плазменно-импульсного воздействия // Газовая промышленность. – 2013. – Сентябрь. – № 696. – С. 95–98.
8. Каледина Н.О., Аношина И.М. Аэродинамические критерии эффективности извлечения метана из выработанных пространств действующих шахт // Научные школы Московского государственного горного университета. – 2008. – Т. 1. – С. 150–154.
9. Пучков Л.А., Сластунов С.В., Федунец Б.И. Перспективы добычи метана в Печорском угольном бассейне. – М.: Изд-во МГГУ, 2004. – 557 с.
10. Пучков Л.А., Сластунов С.В., Презент Г.М. Перспективы промышленного извлечения угольного метана // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2002. – № 6. – С. 6–10.
11. Пучков Л.А., Сластунов С.В., Коликов К.С. Проблемы реализации концепции метанобезопасности на угольных шахтах России // Уголь. – 2009. – № 1. – С. 28–30.
12. Проблемы разработки метаноносных пластов в Кузнецком угольном бассейне / Ю.Н. Малышев, Ю.Л. Худин, М.П. Васильчук и др. – М.: Изд-во Академии горных наук, 1997. – 463 с.
13. Сластунов С.В. Заблаговременная дегазация и добыча метана из угольных месторождений. – М.: Изд-во МГГУ, 1996. – 441 с.
14. Верниго В.М., Кульчицкий В.Б. Предупреждение горных ударов и внезапных выбросов в горнодобывающей промышленности // Горная Промышленность. – 2006. – № 4. – С. 6–7.
15. Особенности заблаговременной дегазации угольных пластов методом бурения скважин с поверхности / П. Сикора, Д. Смыслов и др. // Глюкаф. – 2008. – № 1. – С. 38–45.
16. Правила безопасности в угольных шахтах (ПВ 05–618–03). Сер. 05. Вып. 11. – М.: Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2003. – 296 с.
17. Willenbrink В. CBM Review: degassing development // World Coal. – 2003. – Т. 12. – № 3. – С. 51–54.
18. Методические рекомендации по применению классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Угли и горючие сланцы. Утв. МПР России от 5.06.2007 г. № 37-р. – М.: Изд-во ФГУ ГИЗ, 2007. – 34 с.
19. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. Утв. Мин. угольной промышленности СССР 15.08.1989 г. – Макеевка-Домбасс: Научно-исследовательский институт по безопасности работ в горной промышленности, 1989. – 315 с.
20. Пак Г.А., Дрижд Н.А., Долгонос В.Н. Взаимосвязь обрушений основной кровли с газодинамическими явлениями на угольных шахтах // Уголь. – 2014. – № 1. – С. 56–58.

Поступила 11.04.2014 г.

UDC 622.831.325

PROBLEMS IN CALCULATING GAS-MAKE IN THE OPERATING PANELS IN VIEW OF GEOMECHANICAL AND GAS-DYNAMIC PROCESSES, AND METHODS TO RESOLVE THEM

Elena A. Shubina,

Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue,
Tomsk, 634050, Russia. Email: Lena_shubina@mail.ru

Viktor G. Lukyanov,

Dr. Sc., Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue,
Tomsk, 634050, Russia. Email: lev@tpu.ru

The relevance of the research is caused by the complexity in predicting gas-dynamic processes and their influence on gas-make in the operating panels when mining gas bearing coal deposits; as well as the need to utilise mining equipment in accordance with its specified capability, except the equipment downtime due to the gas factor at coal mining.

The aim of the research is to study the extraction of in-situ coal mass in small dip angles; to form gas-dynamic events and to identify the problems in calculating gas-make when mining coal deposits in order to ensure safety standards at coal and methane production on industrial scale.

The authors have studied geomechanical and gasodynamic processes which occur while mining at development of gas-bearing coal fields. The paper considers the problem issues of calculating gas release into an extraction district. The paper introduces the methods for decreasing natural gas content by the mining start relating to a complex approach to the scheme of exploration wells distribution at the stage of exploration works planning. The authors proposed to use these wells for different kinds of coal bed degasification and methane production in industrial scale. Application of the methods allows excluding the possibility of unexpected massive gas-make in mining heading and ensures safety regulations for mining in coal mines.

Results. Pre-production gas drainage of working and adjacent seams using exploratory boreholes prior to commencing mining of the deposit via underground method, will significantly reduce gas-make into development headings and production area, ensuring safe coal mining and gas extraction. Use of exploratory boreholes for gas drainage reduces the costs of implementing measures to reduce the natural gas content; it allows automated methane extraction on industrial scale.

Key words:

Methane, natural gas-bearing, hole, degassing, safety of mining operations, gas emission, gas-dynamic processes, coal seam, production block.

REFERENCES

- Shubina E.A., Brylin V.I., Lukyanov V.G. Provedenie zablago-vremennoy degazatsii ugolnykh plastov s ispolzovaniem geologo-razvedochnykh skvazhin [Design of geological exploration considering multifunctional use of wells to reduce natural gas content of coal beds]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2008, vol. 324, no. 1, pp. 167–173.
- Vorobev B.M., Vasyuchkov Yu.F., Bykova M.Yu. Innovatsionnaya sinergeticheskaya vysokoadaptivnaya i gluboko konversionnaya kontseptsiya razvitiya ulegazovoy energetiki Rossii [Innovative synergetic high adaptive and deep conversion concept of Coal and Gas Energy of USSR]. *Ugol*, 2012, no. 2, pp. 62–66.
- Zorya A.Yu., Kreynin E.V., Lazarenko S.N. Novye vozmozhnosti [New possibilities]. *Ugol Kuzbassa*, 2009, no. 4, pp.74–77.
- Vasyuchkov Yu., Vorobev B., Vasyuchkov K. Unconventional mining technologies for clean and efficient power degeration. *Mining Engineering*, 1998, April, pp. 65–69.
- Ageev P.G., Strelchenko V.V., Ageev N.P. Innovatsionnaya rossiyskaya nanotekhnologiya daet vtoruyu zhizn bezdeystvuyushchim neftyanym i metanougolnym skvazhinam v SShA, Kitae i Rossii [Innovative Russian nanotechnology gives the second life to dormant oil and coalbed methane wells in the United States, China and Russia]. *Nedropolzovanie*, 2014, no. 1, pp. 26–31.
- Neft, Gaz i Biznes 9'2013. Bezdeystvuyushchie skvazhiny i metanougolnye plasty – obekty primeneniya innovatsionnoy rossiyskoy tekhnologii v SShA i Kitae [Oil, Gas and Business 9'2013. Idle wells and coal-methanol layers are the objects of applying innovative Russian technique in the USA and China]. *Novas Energy Service*. 2009. Available at: <http://novas-energy.ru/content/articles/index.php?article=3315> (accessed 09 April 2014).
- Ageev P.G., Strelchenko V.V., Kazantsev O.E. Intensifikatsiya potoka metana iz ugolnykh plastov metodom plazmenno-impulsnogo vozdeystviya [Intensification of methane flow from coal bed by plasma-pulse action]. *Gazovaya promyshlennost*, 2013, September, no. 696, pp. 95–98.
- Kaledina N.O. Aerodinamicheskie kriterii effektivnosti izvlecheniya metana iz vyrabotannykh prostranstv deystvuyushchikh shakht [Aerodynamic performance criteria of methane extraction from coal operating mines] *Nauchnyye shkoly Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*, 2008, vol. 1, pp. 150–154.
- Puchkov L.A., Slastunov S.V., Fedunets B.I. *Perspektivy dobychi metana v Pechorskom ugolnom bassejne* [Prospects of methane production in the Pechora coal basin]. Moscow, MGGU Press, 2004. 557 p.
- Puchkov L.A., Slastunov S.V., Prezent G.M. *Perspektivy promyshlennogo izvlecheniya ugolnogo metana* [Prospects of industrial extraction of coal methane]. *Gorny informatsionno-analiticheskiy byulleten*, 2002, no. 6, pp. 6–10.
- Puchkov L.A., Slastunov S.V., Kolikov K.S. *Problemy realizatsii kontseptsii metanobezопасnosti na ugolnykh shakhtakh Rossii* [Problems of implementation of the concept of a methane safety on coal mines of Russia]. *Ugol*, 2009, no. 1, pp. 5–9.
- Malyshev Yu.N., Khudin Yu.L., Vasilchuk M.P. *Problemy razrabotki metanonosnykh plastov v Kuznetskom ugolnom bassejne* [Problems of development of methane-bearing layers in Kuznetsk coal basin]. Moscow, Academy of mining sciences Press, 1997. 463 p.
- Slastunov S.V. *Zablagovremennaya degazatsiya i dobycha metana iz ugolnykh mestorozhdeniy* [Preliminary decontamination and methane production from coal fields]. Moscow, MGGU Press, 1996. 441 p.
- Vernigo V.M., Kulchitskiy V.B. *Preduprezhdenie gornyykh udarov i vnezapnykh vybrosov v gornodobyvayushshey promyshlennosti* [Prevention of mountain blows and sudden emissions in mining industry]. *Gornaya Promyshlennost*, 2006, no. 4, pp. 6–7.
- Sikora P., Smyslov D. *Osobennosti zablago-vremennoy degazatsii ugolnykh plastov metodom bureniya skvazhin s poverkhnosti* [Features of preliminary decontamination of coal layers by the method of wells drilling from surface]. *Glyukauf*, 2008, no. 1, pp. 38–45.
- Pravila bezопасnosti v ugolnykh shakhtakh (PB 05–618–03)* [Safety rules for coal mines]. Moscow, Gosudarstvennoe unitarnoe predpriyatie «Nauchno-tekhnicheskiiy tsentr po bezопасnosti v promyshlennosti Gosgortekhnadzora Rossii». 2003, Ser. 05, Iss. 11, 296 p.
- Willenbrink B. *CBM Review: degassing development*. *World Coal*, 2003, vol. 12, no. 3, pp. 51–54.
- Metodicheskie rekomendatsii po primeneniyu klassifikatsii zapasov mestorozhdeniy i prognoznykh resursov tverdykh poleznykh iskopaemykh. Ugli i goryuchie slantsy* [Methodical recommendations on application of Classification of stocks of fields and expected resources of firm minerals. Coals and combustible slates]. Moscow, FGU GKZ Publ., 2007. 34 p.
- Rukovodstvo po proektirovaniyu ventilyatsii ugolnykh shakht*. Makeevka-Dombass. Nauchno-issledovatel'skiy institut po bezопасnosti rabot v gornoy promyshlennosti [Design Guide ventilation of coal mines]. 1989. 315 p.
- Pak G.A., Drizhd N.A., Dolgonosov V.N. *Vzaimosvyaz obrusheniya osnovnoy krovli s gazodinamicheskimi yavleniyami na ugolnykh shakhtakh* [Relationship of main roof collapses with gas-dynamic phenomena in coal mines]. *Ugol*, 2014, no. 1, pp. 56–58.

Received: 11 April 2014.