

**И.А. Поздеев, И.М. Поздеева, П.В. Васильев, А.А. Бутко**

**ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРА  
ДЕФОРМИРОВАНИЯ ГЕОМАССИВА  
И ФОРМИРОВАНИЯ ГАЗОВОГО КОЛЛЕКТОРА  
В ВЫРАБОТАННОМ ПРОСТРАНСТВЕ  
ОТРАБАТЫВАЕМОГО УГОЛЬНОГО ПЛАСТА**

*Проведен анализ и выявлены несоответствия действующих нормативных документов при обосновании параметров вентиляции и дегазации угольных шахт. На примере ООО «Шахта «Есаульская» доказана необходимость корректировки методики расчета параметров заложения дегазационных скважин над куполом обрушения горных пород в выемочном участке. Обоснованы актуальные научно-практические задачи исследований для угольных газовых шахт и предложен вариант их решения численным методом конечных элементов.*

*Ключевые слова: метановыделение, дегазация, нормативные документы, дебит метана, эмпирические и поправочные коэффициенты, напряженно-деформированное состояние геомассива, взаимодействие геомеханических и газодинамических процессов, газовый коллектор, численное моделирование, деформации пород.*

Увеличение глубины ведения горных работ и техническое перевооружение угольных шахт, в части увеличения нагрузок на очистной забой до 10 000 т/сут., привело к повышению метановыделения в горные выработки. В этих условиях безопасная отработка метаносных пластов угля возможна лишь при использовании эффективных методов управления газовой выделением на выемочных участках. Ограничение нагрузок на очистные забои и их внеплановые остановки по причине срабатывания предаварийных уставок датчиков метана, установленных на исходящих струях выемочных участков, загазирования горных выработок свидетельствуют о том, что задачи эффективного управления метановыделением до сих пор не решены [1–6, 12].

Анализ возможных путей интенсификации горных работ и практика применения способов управления газовой выделением в различных горно-гео-

логических условиях свидетельствует о том, что наиболее эффективной в будущие периоды является дегазация источников метановыделения. На угледобывающих предприятиях работы по дегазации ведутся согласно проектам, которые разработаны на основе действующих нормативных документов [10, 11]. Однако, на шахтах России наблюдается низкий уровень дегазации выемочных участков, так как существующие методы дегазации не обеспечивают расчетный дебит метана на устьях дегазационных скважин, в объемах, которые достигаются на шахтах развитых угледобывающих стран [2, 6–9].

Применение действующих нормативных документов не в полной мере обеспечивает точность прогноза метанобильности выемочного участка и эффективность дегазации при достигнутой интенсивности ведения горных работ. Так в «Инструкции по дегазации угольных шахт» [11] и «Руководстве по проектированию вентиляции

угольных шахт» [17] имеются следующие недоработки:

- при прогнозе метанообильности выемочных участков применяются эмпирические и поправочные коэффициенты, которые не в полной мере соответствуют нагрузкам, достигнутым в высокопроизводительных очистных забоях;

- методика расчета размеров газовых коллекторов и зон различных напряженно-деформированных состояний (НДС) углепородного массива не учитывает изменение физико-механических свойств вмещающих пород, в результате чего возникают сложности при адаптации алгоритма расчета к конкретным горно-геологическим условиям. При прогнозе метанообильности выемочных участков применяются идеализированные модели и процессы метановыделения с постоянными фильтрационными свойствами пород;

- не обоснована область применения методики для эффективной обработки разрабатываемого пласта методом гидровоздействия и дальнейшего бурения дегазационных скважин, что приводит к неравномерной обработке дегазируемого массива и нерациональному распределению дегазационных скважин;

- расчет параметров дегазации источников метановыделения в большинстве своем выполнен для статических условий, что не дает возможность выбрать параметры скважин, позволяющие получить максимальный эффект дегазации в условиях неравномерного подвигания линии очистного забоя.

По результатам анализа выявлено отставание имеющегося научного базиса от темпов развития технических решений. В большинстве своем геомеханические и газодинамические процессы изучаются вне связи и при равномерном подвигании очистного забоя или длительной его остановке, что не соответствует фактическим условиям

отработки при неравномерном и циклическом движении комплексно-механизированного забоя (КМЗ). В условиях шахт, в алгоритмах расчетов метанообильности выемочного участка и НДС призабойной зоны разрабатываемого пласта и вмещающих пород кровли, как правило используются исходные данные ранее отработанных выемочных участков-аналогов. При таком подходе удается достичь большего соответствия прогнозных параметров фактическим, чем в случае применения эмпирических коэффициентов, предложенных действующей нормативной документацией. Установление эмпирических коэффициентов для каждого участка требует натурных замеров, что экономически неэффективно в условиях концентрации очистных работ на одном выемочном участке.

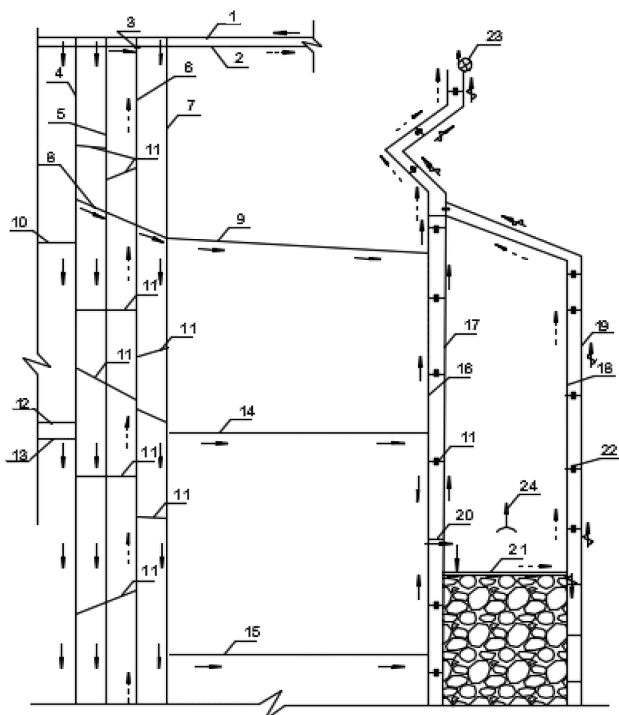
С целью сокращения объема натурных замеров, повышения оперативности прогноза газодинамических явлений, адаптации алгоритма прогноза к условиям шахт в последнее десятилетие расширяется область применения пространственно-информационных математических моделей [13]. Недостатком этих моделей является идеализация процессов фильтрации газов и сдвижений вмещающих пород, а также статичность условий ведения горных работ. Для повышения точности математического прогноза параметров метановыделения при отработке угольного пласта необходимо учитывать взаимодействие геомеханических и газодинамических процессов. Исследования в этом направлении были проведены, но в ограниченном объеме [14, 15].

В этой связи для угольных газовых шахт актуальным является решение следующих научно-практических задач:

- разработать алгоритм и программное обеспечение, позволяющее оперативно, с достаточной для практики точностью прогнозировать параметры газовой динамики и геомеханики;



**Рис. 1. Структура системы исследования**



**Рис. 2. Схема вентиляции выемочного участка 26–28 ООО «Шахта «Есаульская», Кузбасс:** 1 – путевая штольня, конвейерная штольня, 3 – бункер для пересыпа угля, 4 – путевой бремсберг 26–51, 5 – людской ходок 26–51, 6 – конвейерный бремсберг 26–51 «бис», 7 – вентиляционный ходок 26–51, 8 – заезд на путевой бремсберг 26–51 «юг», 9 – магистральный путевой штрек 26–3, 10 – магистральный конвейерный штрек 26–52, 11 – сбойка, 12 – магистральный путевой штрек 26–4, 13 – магистральный конвейерный штрек 26–4, 14 – магистральный путевой штрек 26–5, 15 – вентиляционный штрек 26–31, 16 – бремсберг 26–53, 17 – ходок 26–53, 18 – вентиляционный штрек 26–28, 19 – ходок 26–53, 20 – опережающая сбойка, 21 – очистной забой, 22 – изолирующая перемычка, 23 – направление движения очистного забоя. – свежая струя воздуха, – исходящая струя воздуха, – откачиваемая по газодренажной выработке метановоздушная смесь

- создать численную модель, позволяющую изучать взаимодействие геомеханических и газодинамических процессов в условиях неравномерного подвигания линии очистного забоя;
- установить закономерности формирования газового коллектора в выработанном пространстве с учетом изменения физико-механических свойств вмещающих пород при их подработке в условиях переменной скорости подвигания очистного забоя.

Для этого разработана структура системы мониторинга газодинамических и геомеханических процессов и управления ими (рис. 1). Однако, для настройки модели необходимы натурные наблюдения.

В качестве объекта исследования принят углепородный массив шахтного поля АО «Распадская угольная компания» ООО «Шахта «Есаульская» в период отработки выемочного столба 26–28 по пласту 26а. Глубина ведения горных работ составляет от 410 до 580 м, вынимаемая мощность разрабатываемого пласта – 2,1 м, угол падения – от 1 до 10°.

Пласт отнесен к угрожаемым по горным ударам с глубины 200 м, по внезапным выбросам угля и газа – с глубины 450 м. Шахта отнесена к сверхкатегорным по газу. Геомассив шахтного поля состоит из алевролитов и песчаников, а также включает 7 угольных пластов, ближайший из которых пласт 29а залегает в 130–150 м выше отработываемого пласта.

Схема подготовки – панельная. Система разработки столбовая, с подвижением длинного очистного КМЗ по восстанию. Длина очистного забоя 300 м. Управление кровлей полным обрушением.

Очистная выемка угля в лаве осуществлялась с помощью комплекса 2КМ-138 включающего комбайн KSW-460NE, забойный конвейер RYBNIK-850, секции М-138, перегружатель ПСП-308.94. Схема выемки угля в лаве – односторонняя, снизу вверх по ходу струи свежего воздуха.

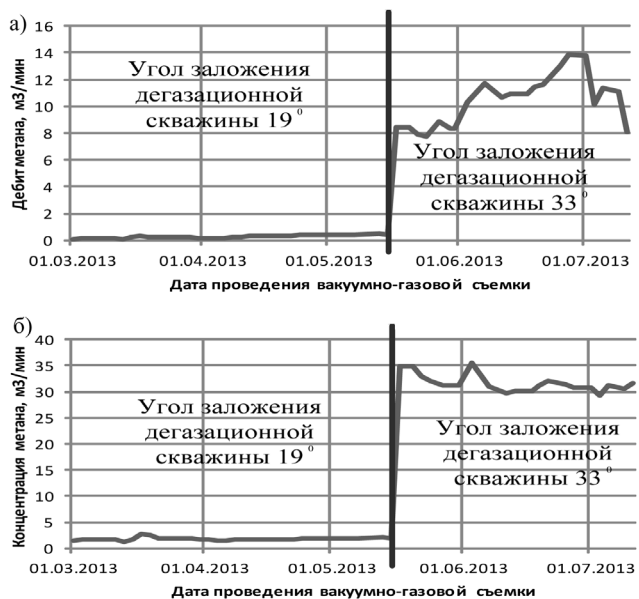
С целью снижения метанообильности выемочного участка было принято решение применения дегазации разрабатываемого пласта и выработанного пространства. Дегазация разрабатываемого пласта осуществлялась при помощи нисходящих дегазационных скважин, пробуренных параллельно очистному забою. Выработанное пространство дегазировалось при помощи газоотсасывающих установок путем отвода метановоздушной смеси по газодренажной выработке и с применением дегазационных скважин, пробуренных над куполом обрушения горных пород (рис. 2).

Параметры дегазационных скважины, пробуренных над куполом обрушения пород, определялись по мето-

дике, предложенной «Инструкцией по дегазации угольных шахт» [11]. По результатам расчета, длина дегазационных скважин составила 64 м, с углом заложения к горизонтальной плоскости 19°.

При таких параметрах заложения дегазационных скважин дебит метана не превышал 0,55 м<sup>3</sup>/мин со средней концентрацией 2,7%.

С целью приведения коэффициента дегазации выработанного пространства в соответствие с проектным значением, было принято решение об увеличении угла заложения дегазационных скважин до 33°. В результате этого дебит метана увеличился до 8 м<sup>3</sup>/мин и достигал 13,9 м<sup>3</sup>/мин, концентрация метана выросла до 30% и достигала 54%, схема дегазации стала устойчивей, снизилось влияние выработанного пространства на метанообильность очистного забоя, что привело к уменьшению числа срабатываний предаварийных уставок датчиков метана на исходящей струе выемочного



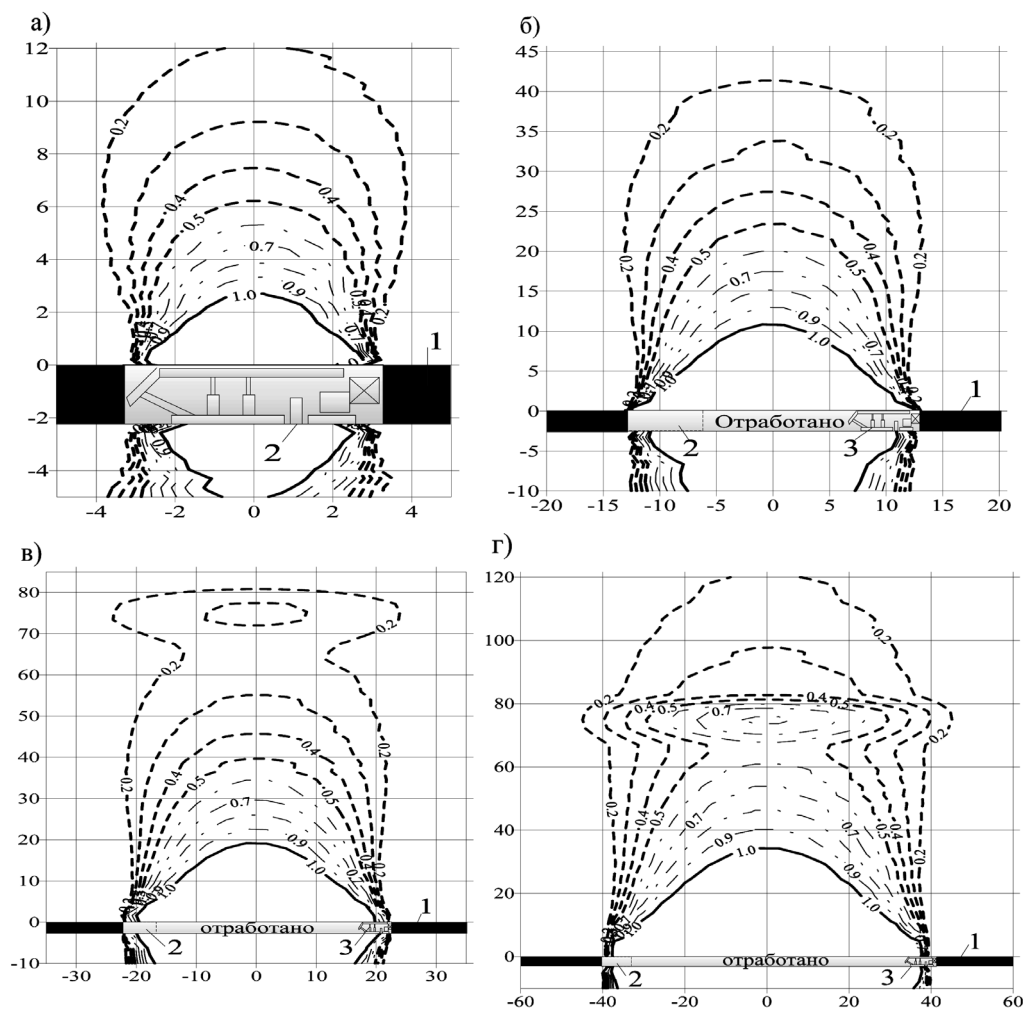
**Рис. 3. Результаты вакуумно-газовых съемок при разных углах заложения дегазационных скважин: а) по дебиту метана; б) по концентрации метана**

участка и, как следствие, числу оставок КМЗ (рис. 3).

Практика дегазации выработанного пространства выемочного участка лавы 26–28 доказала, что методика расчета параметров заложения дегазационных скважин над куполом обрушения, предложенная «Инструкцией по дегазации угольных шахт» [11] требует корректировки, с целью получения уровня эффективности дегазации,

необходимого для ритмичной работы высокопроизводительных очистных забоев.

Для уточнения параметров газового коллектора в рамках поставленных задач предлагается использовать пакет компьютерных программ, разработанных в Сибирском государственном индустриальном университете, адаптированных для решения двумерной и трехмерной задач и определения из-



**Рис. 4.** Графики изменения вертикальных деформаций ( $E_{10-3}$ ) горных пород на разных стадиях развития горных работ: а) монтажная камера; б) отход от монтажной камеры 20 м; в) отход от монтажной камеры 40 м; г) отход от монтажной камеры 80 м: 1 – отработываемый пласт угля, 2 – монтажная камера, 3 – очистной забой



менения механических, реологических и плотностных свойств углепородного массива в зоне влияния очистного забоя [18, 19]. Численное моделирование геомассива осуществляется методом конечных элементов, который заключается в следующем: расчетная модель геомассива разбивается на области (конечные элементы), в каждой из которых поведение массива описывается с помощью набора дифференциальных уравнений, описывающих связь напряжений и деформаций в геомассиве [16].

Для изучения влияния движения очистного забоя на изменения напряженно-деформированного состояния массива и параметров газового коллектора выработанного пространства поэтапно моделировался отход очистного забоя от монтажной камеры.

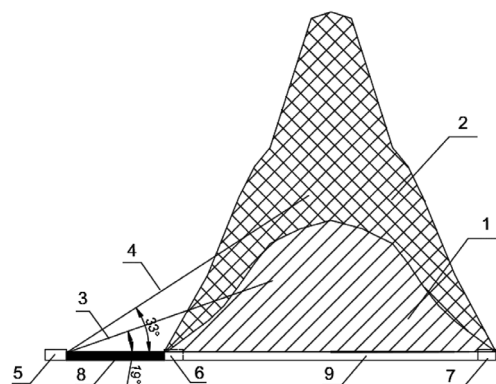
В результате моделирования движения очистного забоя определялись следующие параметры напряженно-деформированного состояния массива: смещения, деформации, напряжения, коэффициенты концентрации вертикальных напряжений, относительная деформация, формы и размеры разрушения зон горных пород. Для выбора типа механизированной крепи наиболее значимым является коэффициент концентрации напряжения. При определении зон разрушения пород в окрестностях КМЗ использовали максимальные растягивающие напряжения. Их выбор связан с тем, что горные породы, как правило, трещиноватые и при возникновении горизонтальных и вертикальных деформаций происходит раскрытие трещин, формирование структурных блоков и их обрушение в выработанном пространстве. При этом в подработанном массиве горных пород формируются зоны полного обрушения кровли, трещиноватости и плавного прогиба. В почве происходит пучение пород также с образованием блочной структуры. В этих усло-

виях метановоздушная смесь и метан с пластов-спутников заполняют образовавшиеся пустоты и формируется газовый коллектор. На рис. 4 показаны формы газового коллектора при разных стадиях отхода очистного забоя от монтажной камеры.

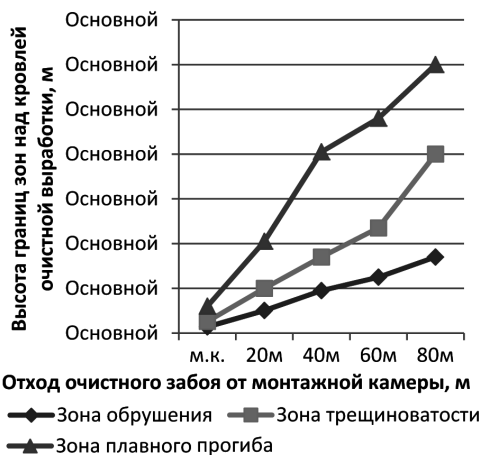
Сплошной линией обозначена зона полного обрушения пород кровли, штрихпунктирной – зона трещиноватости и пунктирной – зона плавного прогиба.

В соответствии с установленными границами зон было рекомендовано изменить параметры заложения дегазационных скважин, при которых забой и ось скважины находятся в зоне трещиноватости массива над куполом обрушения пород кровли.

По результатам моделирования была построена геометрическая модель газового коллектора, схема расположения для дегазационных скважин для горно-технологических условий ООО «Шахта «Есаульская» (рис. 5).



**Рис. 5. Модель газового коллектора выработанного пространства при отходе очистного забоя на 80 м от монтажной камеры:** 1 – зона беспорядочного обрушения пород кровли, 2 – зона трещиноватости, 3 – проектная дегазационная скважина, 4 – экспериментальная дегазационная скважина, 5 – бремсберг 25–53 «юг», 6 – ходок 26–53 «юг», 7 – вентиляционный штрек 26–28, 8 – охранный целик угля, 9 – выработанное пространство



**Рис. 6. Зависимость размера зон НДС геомассива от отхода КМЗ от монтажной камеры**

Из рис. 5 видно, что при угле заложения дегазационной скважины, равного  $19^\circ$ , скважина попадает в зону беспорядочного обрушения пород кровли, в результате чего скважина «срежется», и, как следствие, снижается эффективность дегазации, что подтверждается графиком на рис. 3. При бурении дегазационной скважины под углом  $33^\circ$  скважина попадает в зону трещиноватости пород, что соответствует требуемым параметрам и приводит к увеличению объема дебита и

концентрации метана на устьях дегазационных скважин.

Угол заложения дегазационных скважин необходимо постоянно корректировать по мере изменения формы газового коллектора выработанного пространства выемочного участка, что следует из рис. 6.

На рис. 6 показано, как изменяется зона полного обрушения, трещиноватости и плавного прогиба пород кровли по мере движения очистного забоя.

Из графика видно, что по мере движения очистного забоя высота газового коллектора возрастает, из этого следует ожидать увеличение объема метановоздушной смеси при увеличении расстояния от монтажной камеры до линии очистного забоя.

Таким образом, по результатам натурного эксперимента и численного моделирования установлены формы и размеры газового коллектора. Предполагаемое количество метана предлагается определять с учетом образовавшихся пустот по трещинам. Дальнейшей задачей исследования авторов является расчет объема метана в газовом коллекторе с учетом неравномерного движения КМЗ, динамика газового коллектора при вторичных посадках основной кровли.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рубан А.Д., Артемьев В.Б., Забурдаев В.С., Захаров В.Н., Логинов А.К., Ютяев Е.П. Подготовка и разработка высокогазоносных угольных пластов: Справочное пособие. – М.: Изд-во «Горная книга», 2010. – 500 с.
2. Пучков Л.А., Сластунов С.В., Коликов К.С. Извлечение метана из угольных пластов. – М.: Изд-во МГТУ, 2002. – 383 с.
3. Левчинский Г.С. Повышение эффективности дегазации на глубоких угольных шахтах // Уголь. – 2014. – № 7. – С. 36–37
4. Заседание Правительства Российской Федерации «О долгосрочной программе развития угольной промышленности России

на период до 2030 года // Уголь. – 2014. – № 5. – С. 6–10.

5. Гаммершмидт А.А. Состояние и перспективы развития угольной промышленности Кузбасса // Уголь. – 2014. – № 5. – С. 21–22.

6. Курта И.В., Коршунов Г.И., Павлов И.А., Ютяев Е.П. Зависимость метанобильности высокопроизводительных лав от скорости подвигания очистного забоя (на примере шахт ОАО «СУЭК-Кузбасс») // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 4. – С. 200–203.

7. Крейнин Е.В. Комплексная дегазация углеметанового месторождения как вариант

взрывобезопасной и эффективной его разработки // Уголь. – 2006. – № 12. – С. 46–48.

8. Рубан А.Д. Проблема шахтного метана в России // Уголь. – 2012. – № 1. – С. 23–27.

9. Красюк Н.Н., Кашкарев С.Н., Осыка Я.С. Комбинированная технология извлечения метана из неразгруженных от горного давления угольных пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 8. – С. 5–10.

10. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах». Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору № 550 от 19.11.2013 г.

11. Инструкция по дегазации угольных шахт. Утверждена приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору № 679 от 01.12.2011 г.

12. Таразанов И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь-сентябрь 2014 года // Уголь. – 2014. – № 12. – С. 58–73.

13. Преслер В.Т. Информационно-математическая среда прогноза газопроявлений в угольных шахтах. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2000. – 228 с.

14. Полевщиков Г.Я., Козырева Е.Н. Газокинетический паттерн разрабатываемого массива горных пород // Горный информа-

ционно-аналитический бюллетень. – 2002. – № 11. – С. 117–120.

15. Полевщиков Г.Я., Шинкевич М.В., Козырева Е.Н. Влияние процессов разгрузки и сдвижений вмещающих пород на выделение метана из разрабатываемого пласта // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – № 2. – С. 139–143.

16. Сегерлинд Г. Применение метода конечных элементов. Перевод с англ. – М.: Мир, 1979.

17. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – Макеевка-Донбасс: МакНИИ, 1989. – 319 с.

18. Степанов А.В., Фрянов В.Н., Степанов Ю.А. Программа расчета геомеханических параметров для исследования взаимодействия секции механизированной крепи с углепородным массивом. Свидетельство об официальной регистрации программы на ЭВМ № 2001610645; Заявка № 2001610402 от 02.04.2001. Зарегистр. 31.05.2001. – М.: Роспатент, 2001.

19. Фрянов В.Н., Степанов Ю.А. Программа подготовки данных для проведения расчетов геомеханических параметров угольных шахт методом конечных элементов. Свидетельство об официальной регистрации программы на ЭВМ № 2000610937; Заявка № 2000610798 от 24.06.2000. Зарегистр. 21.09.2000. – М.: Роспатент, 2000. **ПАТ**

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

---

Поздеев Игорь Андреевич<sup>1</sup> – аспирант, помощник начальника участка ВТБ, e-mail: igor-pozdeev0910@mail.ru,

Поздеева Ирина Михайловна<sup>1</sup> – аспирант, e-mail: irina.pozdeeva4387@yandex.ru,

Васильев Павел Валентинович<sup>2</sup> – кандидат технических наук, генеральный директор, e-mail: vasilyevpv@bk.ru,

Бутко Александр Андреевич<sup>2</sup> – главный инженер проектов, e-mail: butko.alexandr1950@yandex.ru,

<sup>1</sup> Сибирский государственный индустриальный университет,

<sup>2</sup> ООО «Сибирская экспертная организация».

---

UDC 622.834:817.47:519.62

## ANALYSIS OF DEFORMATION OF ROCK MASS AND FORMATION OF GAS COLLECTOR IN MINED-OUT VOID OF COAL BED UNDER MINING

Pozdeev I.A.<sup>1</sup>, Graduate Student, Assistant Chief of Ventilation and Occupational Safety Department, e-mail: igor-pozdeev0910@mail.ru,

Pozdeeva I.M.<sup>1</sup>, Graduate Student, e-mail: irina.pozdeeva4387@yandex.ru, Vasil'ev P.V.<sup>2</sup>, Candidate of Technical Sciences,

General Director, e-mail: vasilyevpv@bk.ru,

Butko A.A.<sup>2</sup>, Chief Project Engineer, e-mail: butko.alexandr1950@yandex.ru,

<sup>1</sup> Siberian State Industrial University, 654007, Novokuznetsk, Russia,

<sup>2</sup> Siberian Expert Organization LTD, 653000, Prokop'evsk, Russia.

---



The author has analyzed and revealed shortcomings of current standards available for substantiation of ventilation and degassing parameters for coal mines. In terms of Esaulskaya Mine, it has been proved that it is necessary to correct calculation procedure for degassing hole drilling above rock cavity in an extraction area. The urgent scientific and practical problems are validated for gassy coal mines and their alternative solution using the finite element method is proposed.

Key words: methane release, regulatory documents, methane yield, empirical and correction coefficients, stress–strains state, rock mass condition, interaction between geomechanical and geodynamic processes, gas collector, numerical modeling, rock deformation.

## REFERENCES

1. Ruban A.D., Artem'ev V.B., Zaburdyayev V.S., Zakharov V.N., Loginov A.K., Yutyaev E.P. *Podgotovka i razrabotka vysokogazonosnykh ugol'nykh plastov*: Spravochnoe posobie (Preparation and development of gas-bearing coal seams: Reference aid), Moscow, Izd-vo «Gornaya kniga», 2010, 500 p.
2. Puchkov L.A., Slastunov S.V., Kolikov K.S. *Izvlechenie metana iz ugol'nykh plastov* (Methane extraction from coal seams), Moscow, Izd-vo MGGU, 2002, 383 p.
3. Levchinskiy G.S. *Ugol'*. 2014, no 7, pp. 36–37
4. Zasedanie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii «O dolgosrochnoy programme razvitiya ugol'noy promyshlennosti Rossii na period do 2030 goda. *Ugol'*. 2014, no 5, pp. 6–10.
5. Gammershmidt A.A. *Ugol'*. 2014, no 5, pp. 21–22.
6. Kurta I.V., Korshunov G.I., Pavlov I.A., Yutyaev E.P. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2012, no 4, pp. 200–203.
7. Kreynin E.V. *Ugol'*. 2006, no 12, pp. 46–48.
8. Ruban A.D. *Ugol'*. 2012, no 1, pp. 23–27.
9. Krasnyuk N.N., Kashkarev S.N., Osyka Ya.S. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2005, no 8, pp. 5–10.
10. *Federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Pravila bezopasnosti v ugol'nykh shakhtakh»*. Utverzhdeny prikazom Federal'noy sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru № 550 ot 19.11.2013 g. (Federal norms and rules in the field of industrial safety «Safety rules in coal mines»). Approved by order of the Federal service for ecological, technological and nuclear supervision № 550 ot 19.11.2013 r.)
11. *Instruktsiya po degazatsii ugol'nykh shakht*. Utverzhdena prikazom Federal'noy sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru № 679 ot 01.12.2011 g. (Manual for underground coal mines. Approved by order of the Federal service for ecological, technological and nuclear supervision № 679 ot 01.12.2011 r.)
12. Tarazanov I.G. *Ugol'*. 2014, no 12, pp. 58–73.
13. Presler V.T. *Informatsionno-matematicheskaya sreda prognoza gazoprovyavleniy v ugol'nykh shakhtakh* (Information and mathematical environment forecast seeps in coal mines), Kemerovo, Kuzbassvuzizdat, 2000, 228 p.
14. Polevshchikov G.Ya., Kozyreva E.N. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2002, no 11, pp. 117–120.
15. Polevshchikov G.Ya., Shinkevich M.V., Kozyreva E.N. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2008, no 2, pp. 139–143.
16. Segerlind G. *Primenenie metoda konechnykh elementov*. Perevod s angl. (Application of finite element method. English–Russian translation), Moscow, Mir, 1979.
17. *Rukovodstvo po proektirovaniyu ventilyatsii ugol'nykh shakht* (Design guide of coal mines ventilation), Makeevka-Donbass, MakNII, 1989, 319 p.
18. Stepanov A.V., Fryanov V.N., Stepanov Yu.A. Programma rascheta geomekhanicheskikh parametrov dlya issledovaniya vzaimodeystviya sektsii mekhanizirovannoy krepi s ugleporodnym massivom. *Svidetel'stvo ob ofitsial'noy registratsii programmy na EVM № 2001610645*; Zayavka № 2001610402 ot 02.04.2001. Zaregistr. 31.05.2001), Moscow, Rospatent, 2001.
19. Fryanov V.N., Stepanov Yu.A. Programma podgotovki dannykh dlya provedeniya raschetov geomekhanicheskikh parametrov ugol'nykh shakht metodom konechnykh elementov. *Svidetel'stvo ob ofitsial'noy registratsii programmy na EVM № 2000610937*; Zayavka № 2000610798 ot 24.06.2000. Zaregistr. 21.09.2000), Moscow, Rospatent, 2000.

