

УДК 622.81

КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД СНИЖЕНИЯ ПЫЛЕВОЙ И ГАЗОВОЙ ОПАСНОСТЕЙ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

О. В. СКОПИЦЕВА¹, проф., д-р техн. наук, skopintseva54@mail.ru

С. Д. ГАНОВА¹, зав. кафедрой, проф., д-р геол.-минерал. наук

Н. В. ДЕМИН¹, проф., д-р техн. наук

В. И. ПАПИЧЕВ², ведущий научный сотрудник, д-р техн. наук

¹Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе, Москва, Россия

²ИПКОН РАН, Москва, Россия

Введение

За последние годы на высокопроизводительных шахтах России происходили катастрофические взрывы метана и угольной пыли, сопровождавшиеся экзогенными пожарами, при этом аварии носили комплексный характер, т. е. в них реализовывалось несколько опасных факторов: газ, пыль, внезапные выбросы угля и газа, пожары, тогда как в системе профилактики взрывов основной акцент сделан на метан [1–4].

Дегазация угольных пластов и управление газовой выделением, имеющие целью предотвратить опасность загазирования выработки, повышают эндогенную пожароопасность и увеличивают пылеобразующую способность угля и запыленность воздуха в шахтах [5]. Предварительное физико-механическое воздействие на пласт при дегазации приводит, как правило, к повышению склонности угля к самовозгоранию, а использование способов управления газовой выделением с помощью дренажных штреков и отсоса метановоздушной смеси из выработанного пространства – к усилению проветривания выработанного пространства и интенсификации окислительных процессов, являющихся причиной самовозгорания угля. Следовательно, профилактические меры различных опасных явлений должны быть комплексными и взаимосвязанными [6, 7].

Теоретическое обоснование

В основу применяемых на шахтах методов борьбы с газовой и пылевой опасностью заложен принцип управления свойствами и состоянием угольного массива, и достигается это управление в большинстве случаев за счет гидродинамических способов воздействия на угольный массив, при дегазации массива для раскрытия существующих и создания новых систем трещин или при предварительном увлажнении пластов с целью снижения их пылеобразующей способности.

Изучение опыта применения гидродинамического воздействия на угольный массив позволило установить, что основными причинами недостаточной эффективности метода является неравномерность распределения нагнетаемой жидкости в пласте и низкая смачиваемость угля.

Для повышения равномерности и эффективности увлажнения угольного массива предлагается использовать для нагнетания в массив газонаполненные растворы поверхностно-активных веществ (ПАВ). В процессе предварительного увлажнения угольных пластов нарушается равновесное состояние в системе «уголь –

Рассмотрены теоретические основы движения газожидкостных смесей в пористых средах. Определены условия вытеснения газа жидкостью из микропоры переменного диаметра. Описан механизм комплексного снижения пылевой и газовой опасностей шахт. Приведены экспериментальные данные по соотношению трещин в угле пласта Е-5. Хроматографическим анализом установлено количество сорбированных углеводородов в угле и угольной пыли пласта. Рекомендованы параметры обработки высокогазоносных угольных пластов, опасных по взрывам пыли, газонаполненными растворами поверхностно-активных веществ.

Ключевые слова: угольный массив, угольная пыль, газовая опасность, пылевая опасность, обеспыливание, дегазация, газонаполненный раствор, поверхностно-активные вещества.

DOI: 10.17580/gzh.2018.11.18

метан». Фактическое замещение метана жидкостью зависит от скорости движения жидкости по порам и трещинам.

Под воздействием давления жидкости свободный газ вытесняется из крупных трещин и пор в более мелкие, где газ находится в сорбированном и свободном состоянии.

В каждый момент времени t функция распределения давления P в жидкости будет удовлетворять уравнению фильтрации капельной жидкости [4]

$$\operatorname{div}\left[K \operatorname{grad} P(x, y, z, t)\right]=\frac{\partial}{\partial x}\left(K \frac{\partial p}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(K \frac{\partial p}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(K \frac{\partial p}{\partial z}\right)=0, \quad (1)$$

где $K(x, y, z)$ – проницаемость.

Законы движения газонаполненных растворов сложнее законов движения однородных жидкостей в трубах и изучены хуже. Если при движении однофазного потока приходится иметь дело с одним опытным коэффициентом трения, то при движении двухфазного потока газонаполненных растворов ПАВ приходится прибегать к нескольким опытным характеристикам потока [8–11], которые, в свою очередь, зависят от разнообразных условий движения.

Рассмотрим простую линейную систему движения газонаполненного раствора. При продвижении фронта воды в пласте примем поршневое вытеснение газа водой. В области, занятой водой и газом, течение описывается уравнением Лапласа, которое в рассматриваемом случае линейного течения имеет вид [5]

$$(d^2P)/dx^2 = 0, \quad (2)$$

где P – давление на границе раздела газ – вода.

Градиент давления определяется параметрами:

$$dP/dx = (P_3 - P_{пл})/L, \quad (3)$$

где P_3 – давление на забое скважины, МПа; $P_{пл}$ – пластовое давление на границе контура питания, МПа; L – длина трещины, м.

На перемещающейся границе при $x = L$ будет соблюдаться динамическое условие

$$-m \cdot dl/dt = (K/\mu_{газ})(dP/dx)_{x=L} = (K/\mu_{вода})(dP/dx)_{x=L}, \quad (4)$$

где l – протяженность трещины, заполненной газом, м; K – проницаемость пористой среды, м²; μ – вязкость текучего, Па·с; m – фильтрующий объем пор, м³.

Закачиваемый в пласт под высоким давлением газонаполненный раствор ПАВ, перемещаясь по трещинам и макропорам, будет увеличивать их гидропроводимость, вытеснять и блокировать находящийся в них свободный метан. После прекращения закачки газонаполненного раствора ПАВ и снятия давления с поверхности скважин блокированные жидкостью метан и инертный газ оказываются под воздействием капиллярных сил. Капиллярная пропитка является функцией давления, которая для одного капилляра определяется формулой Лапласа [5]:

$$P_k = (2\sigma \cos\theta) / r_k, \quad (5)$$

где P_k – капиллярное давление, Н/м²; σ – поверхностное натяжение жидкости, Н/м; r_k – радиус капилляра, м; θ – краевой угол смачивания, град.

Для проникновения смачивающей жидкости в микропористую структуру угля необходимо, чтобы капиллярное давление превышало пластовое. При этом возможны две схемы движения жидкости:

1) жидкость из фильтрующего объема проникает в «тупиковую» или «открытую» пору постоянного сечения;

2) жидкость попадает в «открытую» пору переменного сечения.

При первой схеме газ сжимается жидкостью до давления поверхностного натяжения в газовый пузырек, а при второй – передвигается по поре в сторону уменьшения ее сечения. Уменьшение радиуса поры на границе раздела фаз вызывает уменьшение радиуса кривизны и создание добавочного давления поверхностного натяжения, направленного в сторону уменьшения радиуса поры.

Величина добавочного давления поверхностного натяжения, способствующего вытеснению газа из поры, рассчитывается по формуле

$$\Delta P_k = P_{k_1} - P_{k_2} = \sigma(1/R_2' - 1/R_1'), \quad (6)$$

где R_1', R_2' – радиусы кривизны на границе раздела фаз газ – жидкость, м; P_{k_1} – давление поверхностного натяжения жидкости со стороны большего сечения поры, Па; P_{k_2} – давление поверхностного натяжения жидкости со стороны меньшего сечения поры, Па. В случае уменьшения радиуса поры нижеприведенное выражение будет больше нуля:

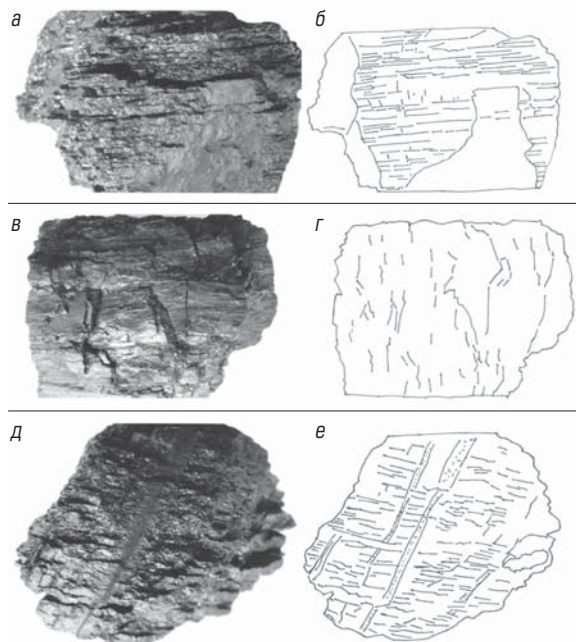
$$(1/R_2' - 1/R_1') > 0, \quad (7)$$

и, следовательно, избыток давления поверхностного натяжения вытесняет газ в сторону меньшего сечения поры. При равенстве $R_1' = R_2' \rightarrow \Delta P_k = 0$, которое соответствует положению газового пузырька в цилиндрической поре постоянного диаметра, добавочное давление $\Delta P_k = 0$, и газовый пузырек блокируется в поре жидкостью.

Экспериментальные исследования

Благодаря пористой структуре массив угля проникаем для жидкости (и газа) и способен вмещать некоторое количество ее в порах и трещинах, что и определяет возможность искусственного увлажнения угольных пластов.

Проницаемость угольного пласта по напластованию обычно превышает проницаемость в крест напластования, и контур увлажненной части массива угля в сечении, перпендикулярном оси скважины, можно рассматривать как эллипс с полуосями R_1 (большая) и R_2 (малая). Для пластов малой мощности основное значение имеет распространение воды по напластованию в направлении R_1 , перпендикулярном оси скважин.



Фотоснимки аншлифов и эскизы трещин образцов угля пласта Е-5:

а, в, д – аншлифы образцов угля; *б, г, е* – эскизы эндогенных (нормальных к напластованию), экзогенных и секущих трещин соответственно

Были изготовлены аншлифы образцов угля пласта Е-5 (шахта «Осинниковская» ОАО «Южжубассуголь») и выполнен эскиз трещин, нормальных к напластованию угля, и трещин, секущих угольный массив*. Установлено, что в изучаемых образцах преобладают трещины, согласные с напластованием (см. рисунок *а, б*), т. е. ориентировка плоскостей трещин преобладающего направления совпадает с директивной ориентировкой измененных динамометаморфизованных вмещающих пород (класс «эндогенных» трещин I типа, горизонтальных) [12].

Эта система трещин (I типа) ступенчато прерывается более редкими секущими трещинами отдельности (см. рисунок, *в, г*) позднего возраста (по классификации «экзогенные», II типа, вертикальные).

Выполненные расчеты показывают, что трещин I типа насчитывается 20–25 ед. длиной 5 см, II типа – 1–2 ед. той же длины. Самые поздние трещины под углом рассекают все остальные (см. рисунок, *д, е*), но их полости «залечены» (заполнены) тонкозернистым материалом угольного пласта.

Наличие связи внезапных выбросов с трещиноватостью угольных пластов установлено многими авторами [13, 14]. По заключению большинства исследователей внезапные выбросы угля и газа происходят в пластах с непрочным углем или из отдельных пачек перемятого угля с полностью нарушенной структурой.

Обычно в свободных газах угольных пластов содержание тяжелых углеводородов (УВ) не превышает 1–5 %. В литературе приводятся сведения, что свободные газы угольных пластов могут содержать повышенные количества тяжелых УВ (десятки %) в угольных газах, отобранных с выбросоопасных участков [3, 13, 15].

*Эскиз выполнил доцент МГРИ – РГГУ, канд. геол.-минерал. наук О. И. Кондюрин.

Результаты опытов [2, 13] показали, что при тектонической препарации углей возрастает их сорбционная активность по отношению к тяжелым УВ. Перемятые угли поглощают в 1,7 раза больше тяжелых УВ, чем крепкие ненарушенные угли. Сорбционная емкость углей по отношению к тяжелым углеводородам увеличивается по мере уменьшения крепости. По данным авторов [13], с возрастанием выбросоопасности пласта и частоты проявления внезапных выбросов повышается и содержание в угле тяжелых УВ (до 1,8 м³/т горючей массы). Пласты практически невыбросоопасные, содержат тяжелые УВ до 0,001 м³/т г. м.; при содержании их более 0,01 м³/т г. м. пласты опасны, а при содержании от 0,004 до 0,01 м³/т г. м. угольные пласты являются переходными от опасных к неопасным.

Для угольных пластов шахты «Осинниковская» (уголь марки Ж) Е-1, Е-5, К-1, К-5 и угольной пыли пласта Е-5 проф. В. С. Лебедевым (МГРИ – РГГРУ) [14, 16] был выполнен хроматографический анализ состава и количества сорбированных УВ угольных пластов и пыли. Результаты исследований показали, что содержание предельных УВ от метана до гексана в газах, выделенных из углей и угольной пыли, составило 13,4–29,1 см³/кг угля, пыли. Четко видно обогащение сорбированных УВ тяжелыми УВ, причем в основном преобладают пропан (С₃Н₈) и бутан (С₄Н₁₀).

Угольная пыль содержит больше УВ С₄-С₆ по сравнению с УВ, выделенными из углей – С₃-С₄. Содержание предельных УВ от пропана до гексана в сумме УВ, извлеченных из углей при термодегазации с температурой 250 °С, варьирует в пределах 80–87 %, в угольной пыли доля извлеченных предельных УВ достигает 91 %. Наибольшее количество бутана десорбируется угольной пылью фракции 0,1–0,25 мм.

Технология и рациональные параметры комплексного способа

Авторами [17] разработан и научно обоснован комплексный способ снижения пылевой и газовой опасностей в угольных шахтах, который может быть использован для воздействия на угольный пласт с целью снижения его пылеобразующей способности и газовыделения, а также повышения эффективности пылеулавливания при отбойке угля. Способ включает бурение скважин, их герметизацию, растворение в воде газа, например азота, с концентрацией от 0,3 до 1 %, добавление в водогазонаполненный раствор (пенообразователя) ПАВ, например «Неоласа», с концентрацией от 0,05 до 5 % в объеме удельного расхода жидкости при предварительном увлажнении угольных пластов (от 10 до 30 л/т) и нагнетании в скважину полученной рабочей жидкости под давлением от 1,5 до 30 МПа.

После насыщения в течение 24–96 ч массив разрушают, например рабочим органом комбайна, и орошают водой (по типу форсунок), после чего высвобожденный газ и метан взаимодействуют с пенообразователем и образуют воздушно-механическую пену, которая изолирует отбитый уголь в объеме разрушенной горной массы, снижая пылегазовыделение в атмосферу горной выработки. Повышение интенсивности выемки угля приводит к возрастанию доли газовыделения из отбитого угля. Использование газонаполненных растворов ПАВ позволяет блокировать выделение газа и пыли как с обнаженной поверхности разрабатываемого пласта, так и из отбитого угля.

Рациональные параметры обработки угольного массива газонаполненными растворами ПАВ определены на основе установленных авторами [17] зависимостей пылеобразующей способности угля от концентрации смачивателя и давления газонаполненного раствора ПАВ и составляют: концентрация смачивателя – 0,2–0,5 %, азота – 1,93–3 %; давление газонаполненного раствора ПАВ – 2–3 МПа.

На основе полученных результатов разработана методика обработки угольного массива газонаполненными растворами ПАВ, включающая использование рациональных параметров увлажнения, и «Технологическая часть промышленных испытаний пылесвязывающего действия обработки угольного массива газонаполненными растворами ПАВ», которая вошла в «Технологическую часть проекта предварительной дегазации пласта «Болдыревский» (шахта им. С. М. Кирова ОАО «СУЭК-Кузбасс»)». Основные параметры воздействия газонаполненными растворами ПАВ на угольный пласт для снижения его пылеобразующей способности приведены ниже.

Длина, м:	
скважины	111
лавы	242
Глубина герметизации скважины, м	10
Расстояние между скважинами, м	20
Количество раствора, закачиваемого в скважину, м ³	201
Время нагнетания раствора в скважину, ч	60,93
Количество инертного газа, необходимое для обработки, л (кг)	5820 (7,28)
Число баллонов с инертным газом, ед.	0,97
Количество смачивателя, необходимое на одну скважину, л	603
Концентрация смачивателя, %	0,3

При проведении гидрорасчленения, которое является базовым воздействием заблаговременной дегазации угольных пластов, происходит значительное повышение влажности, приводящее к снижению прочности угля. В результате этого снижается пылеобразование при ведении горных работ. Снижение запыленности при бурении, креплении и перегрузке достигало 80–90 %. При ведении горных работ через 4–7 лет после гидрорасчленения существенное повышение влажности и снижение запыленности не обнаружено. Причиной этого является то, что в процессе освоения скважин и дегазации угля происходит восстановление его прочности как в результате осушения пласта, так и в результате дегазации угля.

Заключение

Эффективность обеспыливающей обработки угольного массива газонаполненными растворами ПАВ обусловлена снижением пылеобразующей способности угля и повышением эффективности пылеулавливания при отбойке угля за счет воздушно-механической пены, формируемой как в микротрещинах угольного массива, так и при его отбойке на поверхности отбитого угля. Благодаря применению технологии обработки угля газонаполненными растворами ПАВ (ОГНР) происходит равномерное увлажнение угольного пласта.

Заблаговременная дегазация угольных пластов может приводить и к увеличению пылеобразующей способности угля и запыленности воздуха в угольных шахтах. Для снижения пылеобразующей способности угля рекомендуется после завершения дегазационной подготовки и непосредственно перед проведением горных работ повторно увлажнять пласт. Для повышения эффективности этого процесса в рабочую жидкость добавляют ПАВ, например «Неолас», СП-01, «Эльфтор». Концентрация ПАВ должна

составлять 0,2–0,5 %. Объем закачки рабочей жидкости зависит от степени освоенности скважин, но не превышает 400–500 м³ при обработке 200–250 тыс. т запасов угля.

Таким образом, для снижения пылевой и газовой опасностей в угольных шахтах, возникающих, как правило, комплексно и синергетически (усиливающих друг друга), экспериментально обоснованы параметры комплексного способа увлажнения угольного массива газонаполненными растворами ПАВ, применение которых обеспечит существенное снижение взрывоопасности подземной добычи угля.

Библиографический список

1. Мамаяев В. И., Ибраев Ж. А., Лигай В. А. и др. Предупреждение взрывов пылеметано-воздушных смесей. – М.: Недра, 1990. – 159 с.
2. Слостунув С. В., Ермак Г. П. Обоснование выбора и эффективная реализация способов дегазации при интенсивной отработке газоносных угольных пластов – ключевой вопрос обеспечения метанобезопасности угольных шахт // Уголь. 2013. № 1. С. 21–24.
3. Lei Yang. A Mixed Element Method for the Desorption-Diffusion-Seepage Model of Gas Flow in Deformable Coalbed Methane Reservoirs // *Mathematical Problems in Engineering*. 2014. Vol. 2014.
4. Pinkun G., Yuanping C. Permeability Prediction in Deep Coal Seam: A Case Study on the No. 3 Coal Seam of the Southern Qinshui Basin in China // *The Scientific World Journal*. 2013. Vol. 2013.
5. Слостунув С. В., Ютяев Е. П., Мазаник Е. В., Садов А. П., Понизов А. В. Шахтные испытания усовершенствованной технологии подземной пластовой дегазации с использованием гидроразрыва // Уголь. 2016. № 11. С. 32–37.
6. Калимулина Е. Г., Темников В. В. Утилизация пылей аспирации сталеплавильного производства в АО «ЕВРАЗ НТМК» // *Черные металлы*. 2018. № 7. С. 38–40.
7. Beloglazov I. I., Bazhin V. Yu. Simulation of aerodynamic flows of gas withdrawal from coke batteries // *CIS Iron and Steel Review*. 2017. Vol. 13. P. 10–13. DOI: 10.17580/cisirs.2017.01.02
8. Slowik S. Analiza szybkości reakcji utleniania 955-elementowej próby węgla kamiennych z uwzględnieniem zagrożenia pożarowego // *Przegląd Górniczy*. 2016. Vol. 72. No. 2. P. 23–33.
9. Strokova L. A. Methods of estimating surface settlement during driving of urban tunnels // *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2010. Vol. 47. Iss. 3. P. 92–95.
10. Пургина Д. В., Строкова Л. А., Кузеванов К. И. Моделирование гидрогеологических условий для обоснования противооползневых мероприятий на участке набережной реки Камы в городе Перми // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2016. Т. 327. № 1. P. 116–127.
11. Strokova L. A., Ermolaeva A. V., Golubeva V. V. The investigation of dangerous geological processes resulting in land subsidence while designing the main gas pipeline in South Yakutia // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2016. Vol. 43.
12. Епифанцев О. Г., Плетенчук Н. С. Трещиноватость горных пород. Основы теории и методы изучения: методические рекомендации. – Новокузнецк, 2008. – 41 с.
13. Розанцев Е. С., Таран Н. П. Исследование состава углеводородных газов угольных пластов Кузбаса с целью возможного прогнозирования их выбросоопасности // *Повышение безопасности труда при добыче угля: сб. статей. – М.: Мир горной книги, 1990. С. 88–95.*
14. Лебедев В. С., Скопинцева О. В., Савельев Д. И. Исследование остаточной газосносности угля при тепловом воздействии // *Горный журнал*. 2014. № 5. С. 20–21.
15. Колесниченко А. Е., Артемьев В. Б., Колесниченко Е. А., Черечукин В. Г., Любимщицко Е. И. Исследование влияния выхода летучих веществ на взрывоопасность угольной пыли // *Уголь*. 2016. № 2. С. 50–55.
16. Лебедев В. С., Скопинцева О. В. Остаточные газовые компоненты угольных пластов: состав, содержание, потенциальная опасность // *Горный журнал*. 2017. № 4. С. 84–86. DOI: 10.17580/gzh.2017.04.17
17. Скопинцева О. В., Иляхин С. В., Савельев Д. И., Прокопович А. Ю., Вертинский А. С. Обоснование рациональных параметров обеспыливающей обработки угольного массива в шахтах // *Горный журнал*. 2014. № 5. С. 17–20. **EX**

«GORNYI ZHURNAL», 2018, № 11, pp. 97–100
DOI: 10.17580/gzh.2018.11.18

Integrated method of dust and gas hazard reduction in coal mines

Information about authors

O. V. Skopintseva¹, Professor, Doctor of Engineering Sciences, skopintseva54@mail.ru

S. D. Ganova¹, Head of Chair, Professor, Doctor of Geologo-Mineralogical Sciences

N. V. Demin¹, Professor, Doctor of Engineering Sciences

V. I. Papichev², Leading Researcher, Doctor of Engineering Sciences

¹Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University, Moscow, Russia

²Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract

Numerous disastrous explosions of methane and coal dust in coal mines in Russia in recent years were accompanied by exogenous fires and had complex nature, i.e. involved a number of hazardous factors, namely, gas, dust, coal and gas outbursts and fires, while the explosion prevention system focuses on methane. Eventually, prevention of hazardous events should be integrated and coordinated. The foundation for the gas and dust hazard combating in mines is the coal and rock mass control by means of hydrodynamic treatment. On the other hand, efficiency of this approach is insufficiently high due to nonuniform distribution of injected fluid in coal seams and owing to low wettability of coal.

In order to make coal wetting more uniform and effective, it is proposed to inject gas-filled solutions of surface active substances. This method includes drilling and sealing of holes, dissolving of gas, e.g. nitrogen, in water at a concentration from 0.3 to 1 %, addition of the gas-filled solution (foamer) with a surfactant, e.g. Neolas, at a concentration from 0.05 % to 5 % of the specific fluid flow rate in pre-wetting of coal (from 10 to 30 l/t) and injection of the resultant working fluid under pressure from 1.5 to 30 MPa. After the soak treatment for 24–96 h, coal seam is cut by shearer and sprayed with water (jets); whereupon liberated gas and methane interact with the foamer and make foam which isolates broken coal and reduces gas and dust release in mine air. Higher intensive mining leads to increasing gas liberation from broken coal. The gas-filled surfactant solutions block gas and dust emission both from exposed coal surface and broken coal particles.

Thus, with a view to combating gas and dust hazards which are integrated and synergetic (boost each other) in coal mines, the integrated method of coal wetting with gas-filled solutions of surface active substances is experimentally substantiated. The method will ensure considerable mitigation of explosion risk in underground coal mining.

Keywords: coal mass, coal dust, gas hazard, dust hazard, dedusting, degassing, gas-filled solution, surfactants.

References

1. Mamaev V. I., Ibraev Zh. A., Ligay V. A. et al. Prevention of aeromethane-dust mixture blasts. Moscow: Nedra, 1990. 159 p.

2. Slastunov S. V., Yermak G. P. Choice Substantiation of Efficient Implementation of Degassing Methods in Case of Intensive Gas-bearing Coal Beds a Key Issue for Ensuring Coal Mine Methane Safety. *Ugol*. 2013. No. 1. pp. 21–24.
3. Lei Yang. A Mixed Element Method for the Desorption-Diffusion-Seepage Model of Gas Flow in Deformable Coalbed Methane Reservoirs. *Mathematical Problems in Engineering*. 2014. Vol. 2014.
4. Pinkun G., Yuanping C. Permeability Prediction in Deep Coal Seam: A Case Study on the No. 3 Coal Seam of the Southern Qinshui Basin in China. *The Scientific World Journal*. 2013. Vol. 2013.
5. Slastunov S. V., Yutyayev E. P., Mazanik E. V., Sadov A. P., Ponzov A. V. Mine test improved technology underground reservoir degassing with the use of hydraulic fracturing. *Ugol*. 2016. No. 11. pp. 32–37.
6. Kalimulina E. G., Temnikov V. V. Utilization of aspiration dusts in steelmaking production at "EVRAZ NTMK" JSC. *Chernye Metally*. 2018. No. 7. pp. 38–40.
7. Beloglazov I. I., Bazhin V. Yu. Simulation of aerodynamic flows of gas withdrawal from coke batteries. *CIS Iron and Steel Review*. 2017. Vol. 13. pp. 10–13. DOI: 10.17580/cisirs.2017.01.02
8. Slowik S. Analiza szybkości reakcji utleniania 955-elementowej próby węgla kamiennych z uwzględnieniem zagrożenia pożarowego. *Przegląd Górniczy*. 2016. Vol. 72. No. 2. pp. 23–33.
9. Strokova L. A. Methods of estimating surface settlement during driving of urban tunnels. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2010. Vol. 47. Iss. 3. pp. 92–95.
10. Purgina D. V., Strokova L. A., Kuzevanov K. I. Modeling hydrogeological conditions for antilandslide measures justification on the plot of the Kama river embankment in Perm. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2016. Vol. 327, No. 1. pp. 116–127.
11. Strokova L. A., Ermolaeva A. V., Golubeva V. V. The investigation of dangerous geological processes resulting in land subsidence while designing the main gas pipeline in South Yakutia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2016. Vol. 43.
12. Epifantsev O. G., Pletenchuk N. S. Rock Jointing. Theoretical Framework and Research Methods: Guidelines. Novokuznetsk, 2008. 41 p.
13. Rozantsev E. S., Taran N. P. Investigation of composition of hydrocarbon gases of Kuzbass coal layers for the purpose of the possible forecasting of their outburst hazard. *Increasing of labor safety during the coal mining: collection of articles*. Moscow: Mir горной книги, 1990. pp. 88–95.
14. Lebedev V. S., Skopintseva O. V., Savelev D. I. Research of residual gas-bearing capacity of coal with thermal influence. *Gornyi Zhurnal*. 2014. No. 5. pp. 20–21.
15. Kolesnichenko I. E., Artemyev V. B., Kolesnichenko E. A., Cherechukin V. G., Lubomishchenko E. I. The study of volatile matter yield effect on the coal dust explosion hazard. *Ugol*. 2016. No. 2. pp. 50–55.
16. Lebedev V. S., Skopintseva O. V. Residual coalbed gas components: composition, content, hazard. *Gornyi Zhurnal*. 2017. No. 4. pp. 84–86. DOI: 10.17580/gzh.2017.04.17
17. Skopintseva O. V., Ilyakhin S. V., Savelev D. I., Prokopovich A. Yu., Vertinskiy A. S. Substantiation of efficient parameters of dust-controlling processing of coal massif in mines. *Gornyi Zhurnal*. 2014. No. 5. pp. 17–20.