

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТИ ПОРОД МЕЖДУПЛАСТИЙ ПОСЛЕ ИХ ПОДРАБОТКИ И НАДРАБОТКИ С УЧЕТОМ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ И ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

М. Г. Лупий✉

АО «СУЭК-Кузбасс», г. Ленинск-Кузнецкий, Российская Федерация

✉ lupiyng@suek.ru

Аннотация. Приведен прогноз геодинамических и геомеханических процессов при отработке угольных пластов, влияющих на метановыделение в шахтах. Проведен анализ геомеханических процессов и установлены периоды неустойчивого и устойчивого сдвижений подработанной и надработанной толщи горного массива. Установлено, что если размеры разгруженных зон по простиранию и падению не превышают протяженности активных зон, то вся поверхность спутника является активно газоотдающей поверхностью. Именно в активной части зоны сдвижения наблюдается наибольшая пористость и газопроницаемость под- и надработанных толщ. Приведено приближенное аналитическое решение обратной фильтрационной задачи о перетоке метана из подрабатываемых и надрабатываемых пластов. Получено уравнение для расчета средних значений коэффициента газопроницаемости вмещающих пород в зависимости от мощности пород междупластий, скорости продвижения очистного забоя и других горнотехнических факторов. Результаты расчетов могут быть использованы при прогнозе газовыделения из сближенных пластов, а также при проектировании дегазации. Приводится методика прогноза метанообильности подготовительных выработок при проведении их по надработанным пластам с учетом изменения метаноносности и фильтрационных свойств массива вследствие надработки. Методика базируется на исходных данных, известных на стадии проектирования, и учитывает основные параметры, определяющие метанообильность подготовительных выработок.

Ключевые слова: дегазация, угольный пласт, газопроницаемость пород, метанообильность, подработка и надработка пласта, метан, подготовительная выработка, газовыделение

Благодарности: автор выражает благодарность доктору технических наук, профессору К. С. Коликову за консультации и сотрудникам шахты «Талдинская-Западная-1» за проведение экспериментальных исследований

Для цитирования: Лупий МГ. Исследование газопроницаемости пород междупластий после их подработки и надработки с учетом геодинамических и геомеханических факторов. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(2):60-68. <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-60-68>.

STUDY OF THE GAS PERMEABILITY OF PERMEABILITY OF ROCK INTERPLATES AFTER THEIR UNDERMINING AND OVERWORKING, TAKING INTO ACCOUNT GEODYNAMIC AND GEOMECHANICAL FACTORS

M. G. Lupiy✉

JSC SUEK-Kuzbass, Leninsk-Kuznetsky, Russian Federation

✉ lupiyng@suek.ru

Abstract. The article presents a forecast of geodynamic and geomechanical processes during coal seam extraction that affect methane emissions in mines. An analysis of geomechanical processes has been conducted, and the periods of non-steady and steady-state displacements in the undermined and overworked strata of the rock mass have been identified. It has been established that if the dimensions of the unloaded zones along the strike and dip do not exceed the extent of the active zones, the entire surface of the satellite

is an actively gas-emitting surface. The highest porosity and gas permeability of the undermined and overworked strata are observed in the active part of the displacement zone. An approximate analytical solution to the inverse filtration problem of methane flow from the undermined and overworked seams is presented. An equation has been derived to calculate the average values of the gas permeability coefficient of the surrounding rocks, depending on the thickness of the interlayer rocks, the advance rate of the working face, and other mining factors. The results of the calculations can be used to predict gas emissions from adjacent seams and in the design of degassing. A methodology for predicting methane content in development workings driven through overworked seams is provided, taking into account changes in methane content and filtration properties of the rock mass due to overworking. The methodology is based on initial data known at the design stage and considers the main parameters determining the methane content in development workings.

Keywords: degassing, coal seam, rock permeability, methane content, undermining and overworking of seams, methane, development workings, gas emission

Acknowledgments: The author expresses his gratitude to the Doctor of Technical Sciences, professor. Kolikov K. S. for advice and to the staff of sh. Taldinskaya-Zapadnaya-1 for conducting experimental research.

For citation: Lupiy MG. Study of the gas permeability of permeability of rock interplates after their undermining and overworking, taking into account geodynamic and geomechanical factors. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(2):60-68. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-2-60-68>.

Введение

Ряд авторов указывают, что в течение геологических периодов за счет естественной миграции происходило перераспределение газа по всей вмещающей толще пород [1–3]. В зависимости от совокупности геологических условий вмещающие породы могут насыщаться газом по-разному. Если газопроницаемость пород выше газопроницаемости угля, то процесс миграции может привести к равномерному перераспределению газа в толще пород или вызвать пониженную газоносность угольных пластов. Если газопроницаемость угля выше газопроницаемости пород, то газоносность вмещающих пород значительно ниже газоносности угля. Учитывая тот факт, что мощность пород междупластий гораздо больше мощности угольных пластов, можно принять их по запасам заключенного газа равноценными [4, 5].

Однако из-за высокой сорбционной способности угля нужно признать, что угольные пласты, попадая в зону разгрузки, становятся источниками дополнительного поступления десорбированного газа в выработки разрабатываемого пласта. Для того чтобы учесть дополнительное поступление газа, выделяющееся при разгрузке пластов-спутников, будем считать, что угленосная толща представляет газовую залежь свободного метана, в которой содержатся внутренние источники (пласты-спутники) с преимущественным содержанием в них сорбированного метана [6–8].

Механизм перемещения газа из газовой залежи можно объяснить характером сдвижения междупластовой толщи пород и перераспределением напряжений в зоне влияния очистной выемки. Оработка угольного пласта вызывает деформацию вмещающих горных пород. По степени и характеру влияния очистной выработки на массив горных пород в области влияния выработки могут быть выделены следующие зоны: обрушения, полных сдвижений, разгрузки и опорного давления.

Высота зоны беспорядочного обрушения в зависимости от коэффициента разрыхления пород достигает 3–4-кратной мощности пласта. Выше этой зоны обрушение происходит в виде отдельных блоков, в результате чего образуется зона прогиба горных пород с образованием трещин и разломов. Зоны беспорядочного обрушения и прогиба горных пород образуют зону полных сдвижений. В пределах зоны полных сдвижений образуются полости и трещины, сообщающиеся между собой и с выработанным пространством. Пори-

стость, а следовательно, и проницаемость пород в этой зоне резко возрастает, обуславливая интенсивную миграцию газа. Выше зоны полных сдвижений оседание пород происходит без разрыва их сплошности; расслоения пород, как правило, изолированы друг от друга и от выработанного пространства, поэтому миграция метана через эту зону может происходить только по естественным порам и трещинам. Но естественная газопроницаемость вмещающих пород на глубине ведения горных работ настолько низка, что при существующих градиентах давлений движение газа может происходить только по законам диффузии. Вследствие малой скорости диффузионного потока газоделиение из вмещающей толщи, расположенной выше зоны полных сдвижений, существенного влияния на загазованность выработанного пространства не оказывает.

Следовательно, можно считать установленным, что основное газоделиение в выработанное пространство разрабатываемого пласта происходит из зоны полных сдвижений. Высота зоны полных сдвижений зависит от многих горно-геологических и горнотехнических факторов. Для определения масштабов газоделиения из под- и надрабатываемых пластов и из горных пород, вмещающих эти пласты, необходимо знать изменение газопроницаемости угленосной толщи на любом расстоянии от разрабатываемого пласта. Изменение газопроницаемости вызывается как изменением напряженного состояния пород за счет перераспределения горного давления, так и изменением давления газа, заключенного во вмещающей толще [9, 10].

На первой стадии развития работ, когда пласты-спутники не попали в зону полных сдвижений, происходит изменение фильтрационных свойств только вмещающей толщи, и содержащийся в ней свободный газ по открывшимся порам и трещинам не выделяется в выработанное пространство. Продолжительность этого периода невелика и зависит от высоты залегания спутника, свойств вмещающих пород и скорости развития горных работ.

Во второй период, когда пласты-спутники попали в зону полных сдвижений, происходит их разгрузка от горного давления, и заключенный в них сорбированный газ, переходя в свободное состояние, по открывшимся трещинам и порам устремляется в выработанное пространство. При равномерном продвижении забоя в период между обрушениями кровли происходит постоянная разгрузка пластов-спутников, в результате этого можно считать интенсивность газоделиения

из спутников постоянной. Постоянство газовыделения из них нарушается только в момент посадки основной кровли, в результате чего происходит мгновенная разгрузка пластов-спутников, и дополнительная масса десорбированного газа вызывает неравномерность газовыделения в выработанное пространство [11, 12].

Для того чтобы получить дифференциальное уравнение, описывающее указанный характер перемещения метана в выработки разрабатываемого пласта, необходимо установить зависимость газопроницаемости от смещения пород и от величины давления заключенного в них газа. Кроме того, необходимо найти характер изменения давления газа в под- и надрабатываемой толще пород.

При одной и той же метаноносности количества метана, выделяющиеся в шахте, неодинаковы. Если в шахтном поле залегает один пласт, разрабатываемый сразу на всю мощность, как бы ни была высока его метаноносность, количество выделяющихся при его разработке газов всегда будет меньше его природной метаноносности. Если же в поле шахты залегает несколько пластов, то в выработки пластов, разрабатываемых в первую очередь, поступают большие количества газа из смежных пластов, в несколько раз превышающие его природную метаноносность. Чем больше угля содержится в недрах, чем на большей глубине ведутся работы и чем меньше одновременно разрабатывается пластов, расположенных в шахтном поле, тем большие количества метана поступают в шахту на тонну добываемого угля. Угольные месторождения чрезвычайно разнообразны по числу и мощности пластов угля и расстоянию между ними [13, 14].

Цель исследований: повышение эффективности и безопасности горных работ по газовому фактору на выемочных участках шахт АО «СУЭК-Кузбасс», отработывающих угольные пласты с тяжелыми кровлями с учетом опасных геодинамических и геомеханических факторов.

Методика исследований: комплексная, включающая анализ литературных источников, анализ шахтных данных, аналитические исследования газодинамических процессов на выемочных участках и состояния массива горных пород при отработке пластов с тяжелыми кровлями.

Результаты исследований

Значительное влияние на интенсивность газовыделений оказывает глубина разработки [15, 16]. Чем больше глубина разработки, тем выше при прочих равных условиях природная метаноносность угольных пластов. На большей глубине интенсивнее происходит трещинообразование горных пород, которое захватывает смежные пласты, дегазируемые в выработки разрабатываемого пласта. В результате этого количества газа, поступающие на тонну добываемого угля, в два-три раза и более превышают природную метаноносность разрабатываемого пласта.

Большой диапазон в метаноносности угольных пластов, наличие дегазированных зон в верхних частях месторождения, различная насыщенность недр угольными пластами разной мощности и степени сближенности, рассредоточенность горных работ по глубине залегания угольных пластов и принятый порядок разработки, при котором число одновременно разрабатываемых пластов в несколько раз меньше числа дегазируемых смежных пластов, обусловили различную характеристику шахт по количеству выделяющихся в них газов.

Высокая интенсивность газовыделений, превышающая в несколько раз метаноносность разрабатываемых пластов, обусловлена дегазацией смежных неразрабатываемых пластов угля.

Метаноносность угленосных толщ обуславливается:

- а) степенью угленасыщенности;
- б) пористостью углей и вмещающих пород.

Наибольшая концентрация метана (т.е. наибольшая газонасыщенность) приурочена к углям, поэтому в угленосной толще необходимо выделять зоны повышенной метаноносности, которые в большинстве случаев располагаются в угленосных толщах неравномерно и зависят от распределения и группировки угольных пластов и пропластков в различных частях свит.

Наибольшая метаноносность угленосной толщи приурочена к зонам более высокой угленасыщенности в различных частях свит. Газообильность горных выработок по отдельному рабочему пласту следует относить к дегазации всей газоносной толщи. Газ, находящийся в свободной фазе, в основной своей массе заключен в порах угля и вмещающих его пород, а также в трещинах, не имеющих связи с земной поверхностью. Коллекторная способность угленосной толщи в основном определяется пористостью углей и пород [17, 18].

Горной геомеханикой [19, 20] установлены периоды неустановившегося и установившегося сдвижения подработанной толщи. Период неустановившегося сдвижения делится на два этапа: первый – от начала очистной выемки до выхода вершины эллипсоида разгрузки на земную поверхность, второй – от начала возникновения на поверхности земли мульды сдвижения до появления в ней плоского дна. В этот период подрабатываемая толща представляет собой многослойную плиту переменной мощности, опертую по периметру (или на двух опорах). Период установившегося сдвижения подработанной толщи начинается после образования плоского дна мульды сдвижения на поверхности. В этот период многослойная плита закреплена в одном конце.

Если говорить о пластах-спутниках, то под периодом неустановившегося сдвижения спутника будем понимать время от начала очистной выемки на одном из пластов свиты до образования плоского дна в спутнике, а под периодом установившегося сдвижения – время после образования плоского дна в спутнике.

Для надработанных спутников период неустановившегося сдвижения делится на два этапа: первый – распространение зоны надработки на предельно возможную глубину, второй – формирование активной зоны сдвижений. Если размеры разгруженных зон по простиранию и падению не превышают протяженности активных зон, то вся поверхность спутника является активно газоотдающей поверхностью. Именно в активной части зоны сдвижения наблюдается наибольшая пористость и газопроницаемость под- и надработанных толщ. Как правило, пока эллипсоид разгрузки не коснулся поверхности, непосредственная кровля не обрушается. Можно считать, что первая посадка непосредственной кровли происходит после выхода эллипсоида разгрузки на поверхность земли и образования консолей. Образование консолей и их изгиб по мере дальнейшего подвигания очистного забоя приводит к их обрушению и возникновению зоны полных сдвижений. До вскрытия пласта-спутника областью полных сдвижений выделение газа задерживается, в результате в окружающих породах накапливается метан, десорби-

руемый в процессе увеличения пористости угля и снижения газового давления.

Известно, что в процессе под- и наработки сближенных пластов изменяются фильтрационные свойства вмещающих пород. Причем закономерности этих изменений весьма сложны и до настоящего времени до конца не изучены. Вместе с тем при разработке динамического метода расчета вентиляции шахт, включающего в себя предварительный расчет ожидаемого газовыделения из сближенных угольных пластов, а также при проектировании их дегазации в ряде случаев необходимо знать хотя бы приближенное значение коэффициента газопроницаемости пород, попадающих в зону разгрузки [21–23].

Для нахождения этого коэффициента решим приближенно обратную фильтрационную задачу. С этой целью рассмотрим область фильтрации, представленную на рисунке 1, и применим метод материального баланса, предложенный Л. С. Лейбензоном [24]. Можно с достаточной для практики точностью предположить, что метан из сближенного пласта поступает из области $CDD'C'$ через поверхность, равную площади выемочного поля, а также считать, что движение газа из сближенного пласта в выработанное пространство одномерно-параллельное.

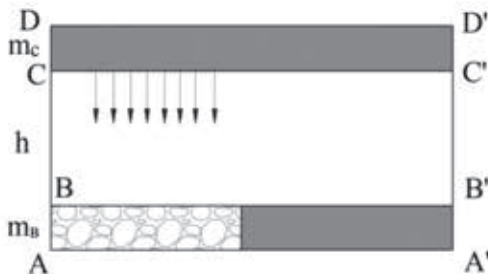


Рис. 1. Схема области решения задачи фильтрации метана из сближенного пласта в выработанное пространство /

Fig. 1. Diagram of the solution area for the problem of methane filtration from the adjacent reservoir into the depleted space

Выберем систему координат, начало которой поместим на линии BB' . Тогда по физическим условиям задачи давление газа должно удовлетворять следующим граничным условиям:

$$\left. \begin{aligned} P &= P_a \text{ на линии } BB' \\ \frac{\partial P}{\partial x} &= 0 \text{ на линии } DD' \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Функция давления, удовлетворяющая условиям (1), может быть взята в соответствии с работой [4] в виде

$$P = P_a + \sin \left[\frac{\pi x}{2(h + m_c)} \right] A(t), \quad (2)$$

где P – давление метана в спутнике, МПа;

P_a – атмосферное давление (давление на линии BB'), МПа;

x – расстояние от кровли разрабатываемого пласта до любой точки области решения, м;

h – мощность пород междупластья, м;

m_c – неизвестная функция времени, подлежащая определению;

t – время с начала поступления метана в разрабатываемый пласт, сут.

Если наличием свободного газа пренебречь, то объем метана в выделенной области пласта-спутника будет равен

$$M = \frac{abP\omega}{1 + bP}, \quad (3)$$

где M – объем метана, м³;

a, b – константы уравнения Ленгмюра;

ω – рассматриваемый объем пласта-спутника, равный

$$\omega = \gamma m_c L l, \quad (4)$$

здесь γ – удельный вес угля, т³/м;

L и l – соответственно длина и ширина выемочного поля, м.

С учетом рекомендаций работы [4] объемный расход газа через CC' будет равен

$$J = -\frac{dM}{dt} = -\frac{dabLl\gamma}{(1 + bP_0)^2 dt} \int_0^{h+m_c} \left\{ P_a + \sin \left[\frac{\pi x}{2(h + m_c)} \right] \right\} A(t) dx, \quad (5)$$

где J – объемный расход газа, м³;

P_0 – природное давление метана в сближенном пласте, МПа.

Производя интегрирование и дифференцирование последнего выражения, получим

$$J = -\frac{abLl\gamma}{(1 + bP_0)^2} \left[m_c P_a + \frac{2(h + m_c)}{\pi} \cos \frac{\pi h}{2(h + m_c)} \right] \frac{dA}{dt}. \quad (6)$$

С другой стороны, если фильтрационные свойства пород междупластья характеризовать некоторым осредненным коэффициентом газопроницаемости k , величину которого считать постоянной, то объемный расход метана через BB' будет также равен по уравнению Дарси

$$J = \frac{kLl}{2\mu P_a} \left(P \frac{\partial P}{\partial x} \right)_{x=0}, \quad (7)$$

где μ – динамическая вязкость метана.

Производя дифференцирование последнего выражения с учетом выражения (2) и применяя осреднение по Л. С. Лейбензону, для площади фильтрации метана из сближенного пласта, равной в среднем $0,5Ll$, получим

$$J = \frac{k(P_0 + P_a)Ll\pi A(t)}{8\mu P_a(h + m_c)}. \quad (8)$$

Из сравнения уравнений (6) и (8) следует

$$\frac{dA}{A} = -\theta dt, \quad (9)$$

где θ – коэффициент, равный

$$\theta = \frac{k(P_0 + P_a)\pi^2(1 + bP_0)^2}{8\mu P_a(h + m_c)ab\gamma \left[\pi m_c P_a + 2(h + m_c) \cos \frac{\pi h}{2(h + m_c)} \right]}. \quad (10)$$

Решение уравнения (9) имеет вид

$$A = A_0 E^{-\theta t}, \quad (11)$$

где постоянная интегрированная A_0 определяется из начального условия $P_{t=0} = P_0$ и равна

$$A_0 = \frac{4(P_0 - P_a)}{\pi}. \quad (12)$$

Из уравнения (8) с учетом выражений (11) и (12) получим уравнение для определения интенсивности газовыделения из спутника

$$J = \frac{k(P_0^2 + P_a^2)Ll}{2\mu P_a(h + m_c)} e^{-\theta t}. \quad (13)$$

Суммарное газовыделение из сближенного пласта за период отработки выемочного поля будет равно

$$G = m_c Ll \gamma (x - x_0)(1 - e^{-\theta t}), \quad (14)$$

где G – суммарное газовыделение, м^3 ;

x – природная метаноносность сближенного пласта, $\text{м}^3/\text{т}$;

x_0 – метаноносность угля при атмосферном давлении, $\text{м}^3/\text{т}$;

t – время отработки выемочного поля, сут;

$$t = \frac{L}{V}, \quad (15)$$

здесь V – скорость подвигания очистного забоя, $\text{м}/\text{сут}$.

Относительное газовыделение из сближенного пласта определяется путем деления величины G , рассчитанной по уравнению (14), на величину запасов угля выемочного поля равную $m_b Ll \gamma$,

$$g_{\text{сп}} = \frac{m_c}{m_b} (x - x_0) \left(1 - e^{-\frac{\theta L}{V}}\right), \quad (16)$$

где $g_{\text{сп}}$ – относительное газовыделение из сближенного пласта, $\text{м}^3/\text{м}^2$.

С другой стороны, согласно нормативному документу [22], относительное газовыделение из сближенного пласта определяется по уравнению

$$g_{\text{сп}} = \frac{m_c}{m_b} (x - x_0) \left(1 - \frac{h}{h_p}\right), \quad (17)$$

где h – расстояние по нормали между разрабатываемым и смежным пластами, м ;

h_p – расстояние по нормали между разрабатываемым и смежным пластами, при котором газовыделение из последнего практически равно нулю, м .

Для условий надработки [25] расстояние до границы нулевого газовыделения принимается m , а для условий подработки при управлении кровлей полным обрушением рассчитывается по уравнению

$$h_p = 40m_b(1,2 + \cos \alpha_{\text{пл}}), \quad (18)$$

где $\alpha_{\text{пл}}$ – угол падения пласта, град.

Приравняв правые части выражений (16) и (17), получим

$$\theta = -\frac{V}{L} \ln \frac{h}{h_p}. \quad (19)$$

Последнее соотношение позволяет с учетом уравнений (10) и (18) определить искомый коэффициент газопроницаемости вмещающих пород по формуле

$$k = \frac{8\mu ab P_a \gamma V (h + m_c) \ln \frac{h_p}{h} \left[\pi m_c P_a + 2(h + m_c) \cos \frac{\pi h}{2(h + m_c)} \right]}{\pi^2 (P_0 + P_a)(1 + b P_0)^2 L}. \quad (20)$$

Специфической особенностью прогноза метанообильности подготовительных выработок, проводимых по надработанным угольным пластам, является необходимость учета изменения метаноносности и фильтрационных свойств, обусловленных разгрузкой массива от горного давления.

Действующими нормативными документами по прогнозу метанообильности горных выработок [25] учитывается изменение метаноносности за счет надработки только в области,

ограниченной расстоянием по нормали от надрабатывающего пласта 35–50 м. Причем рекомендации нормативных документов по определению этой области носят противоречивый характер как в части предельного ее расстояния, так и в части влияния мощности надрабатывающего пласта на изменение метаноносности массива. Кроме того, в этих нормативных документах при расчете метановыделения в подготовительные выработки не учитывается изменение фильтрационных свойств пластов за счет надработки.

Противоречивость рекомендаций нормативных документов и недостаточная их обоснованность предопределили необходимость проведения исследований с целью уточнения методики прогноза метановыделения в подготовительные выработки при проведении по надработанным пластам, а также зависимости остаточной после надработки метаноносности пласта, метановыделения с обнаженных поверхностей и отбитого угля.

Исследования выполнены на шахтах Кузбасса в 22 подготовительных выработках, проводимых в надработанной и ненадработанной зонах. Объекты исследований выбирались таким образом, чтобы представилось возможным проследить изменение в широком диапазоне глубины залегания пластов, их природной метаноносности, вынимаемой мощности надрабатывающих пластов, кратности пород междупластья и технологических параметров проведения выработок.

Уточнение зависимости остаточной после надработки метаноносности угольных пластов производилось с целью выяснения влияния вынимаемой мощности и надрабатывающего слоя на величину остаточной метаноносности. Для этого прямым [26] и косвенным по фактической метанообильности подготовительных выработок [27] методами устанавливались природная и остаточная после надработки метаноносности угольных пластов. На основании исследований установлена тесная корреляционная связь степени дегазации надработанных пластов от соотношения мощности пород междупластья к вынимаемой мощности надрабатывающего пласта (рис. 2):

$$K_d = \frac{X - X_{\text{ост}}}{X} = \left(\frac{h_i}{m_b}\right)^{-0,83}, \quad (21)$$

где K_d – степень дегазации надработанных пластов;

X – природная метаноносность пласта, $\text{м}^3/\text{т}$;

$X_{\text{ост}}$ – остаточная после надработки метаноносность пласта, $\text{м}^3/\text{т}$;

h_i – мощность пород междупластья, м ;

m_b – вынимаемая мощность надрабатывающего пласта, м .

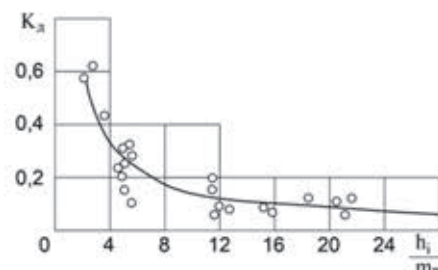


Рис. 2. Изменение степени дегазации надработанных пластов в зависимости от кратности междупластья /

Fig. 2. Change in the degree of degassing of the accumulated layers depending on the multiplicity of the interlayer

Решив выражение (21) относительно остаточной после надработки метаноносности пласта, получим зависимость ее

от мощности пород междупластья и вынимаемой мощности надрабатывающего пласта

$$X_{\text{ост}} = X - X \left(\frac{h_i}{m_B} \right)^{-0,83} \quad (22)$$

Установленная зависимость (2) принципиально отличается от принятой в работе [22] тем, что учитывает влияние вынимаемой мощности надрабатывающего пласта на остаточную метаноспособность, имеет расширенную область ее использования по кратности междупластья, которая находится в пределах от 2 до 22, и меньшую погрешность определения.

Как показывают сопоставительные расчеты, относительные ошибки определения остаточной после надработки метаноспособности пласта при мощности пород междупластья до 35 м по формуле (22) находятся в пределах от -10 до +20 % (рис. 3а), а по рекомендациям [22], – в пределах от -60 до +30 % (рис. 3б). При этом отмечается четкая тенденция завышения результатов расчета по сравнению с фактическими данными. При сопоставительных расчетах в 13 случаях (87 %) из 15 результаты расчетов завышены по сравнению с фактическими значениями остаточной после надработки метаноспособности пластов.

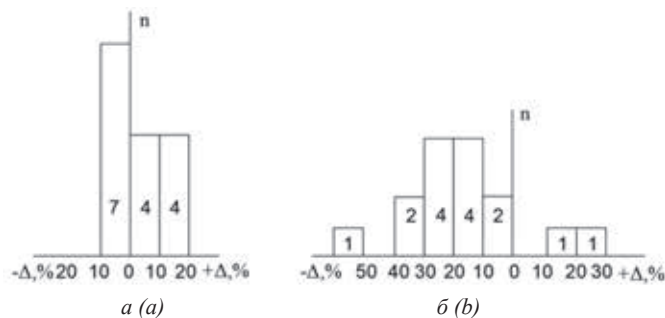


Рис. 3. Гистограммы распределения относительных ошибок определения остаточной метаноспособности надработанных пластов:

а – по формуле (22); б – по рекомендациям [22] /

Fig. 3. Histograms of the distribution of relative errors in determining the residual methane content of overworked formations:

a – according to formula (22); b – according to recommendations [22]

Исследования газовой динамики надработанных пластов Кузбасса [28] позволили установить, что начальная интенсивность метановыделения с обнаженных поверхностей надработанных пластов по сравнению с ненадработанными, уменьшаясь пропорционально величине снижения метаноспособности, имеет квадратичный характер в функции остаточной метаноспособности и может описываться аналогичной зависимостью

$$g_0 = a(X_{\text{ост}} - X_0)^2, \quad (23)$$

где g_0 – начальная интенсивность метановыделения с обнаженных поверхностей пласта, $\text{м}^3/\text{м}^2 \text{ сут}$;

a – эмпирический коэффициент, равный для пластов верхней группы свиты 0,065 и для пластов нижней группы свиты 0,085;

X_0 – остаточная метаноспособность угля, $\text{м}^3/\text{т}$; принимается равной 3,0 для пластов нижней группы свиты и 3,95 для пластов верхней группы свиты.

Коэффициент, характеризующий темп снижения интенсивности метановыделения во времени с обнаженных поверхностей пласта, для проводимых по надработанному угольному массиву в 1,2–1,3 раза выше, чем для выработок, проводимых по ненадработанным пластам. Увеличение этого коэффициента подтверждает изменение фильтрационных

свойств в результате надработки пластов и свидетельствует об ускорении процесса затухания метановыделения с обнаженных поверхностей пласта.

Установлено, что коэффициент, учитывающий темп снижения интенсивности метановыделения во времени, для верхней и нижней групп пластов свиты описывается соответственно зависимостями

$$n = 1,26 - 0,66 \lg(X_{\text{ост}} - 4), \quad (24)$$

$$n = 0,931 - 0,55 \lg(X_{\text{ост}} - 3), \quad (25)$$

где n – коэффициент, учитывающий темп снижения интенсивности метановыделения во времени.

Метановыделение с обнаженных поверхностей пласта в подготовительную выработку, проводимую по надработанному угольному массиву, рекомендуется рассчитывать по формуле

$$I_1 = 0,0014mV \frac{g_0}{n} t^n, \quad (26)$$

где I_1 – метановыделение с обнаженных поверхностей пласта, $\text{м}^3/\text{мин}$;

m – мощность угольных пачек пласта, м;

V – скорость проведения выработки, м/сут.

При исследовании метановыделения из отбитого угля имелось в виду, что существующие в нормативных документах зависимости позволяют определять только среднее метановыделение и не учитывают такие параметры, как производительность комбайна и время пребывания отбитого угля в пределах выработки. Поэтому исследования метановыделения из отбитого угля проводились с таким расчетом, чтобы представилось возможным уточнить в этой части существующие зависимости.

На основании комплекса исследований по кинетике газоразделения из отбитого угля, определению метаноспособности в зоне выемки и остаточной метаноспособности угля, выданного из подготовительных выработок, установлена количественная зависимость для определения метановыделения из отбитого угля

$$I_2 = \frac{8,6 \cdot 10^{-3} X_B^2 P t_{\text{тр}} 0,35 \exp(-0,3 \sqrt{X_B - X_1})}{\exp(-0,3 \sqrt{X_B - X_1})}, \quad (27)$$

где I_2 – метановыделение из отбитого угля, $\text{м}^3/\text{мин}$;

X_B – метаноспособность угля в зоне выемки, $\text{м}^3/\text{т}$;

X_1 – остаточная метаноспособность отбитого угля, $\text{м}^3/\text{т}$;

P – производительность комбайна, $\text{т}/\text{мин}$;

$t_{\text{тр}}$ – время пребывания отбитого угля в выработке, мин.

$$X_B = X_{\text{ост}} - \exp(-0,13V) (X_{\text{ост}} - X_0). \quad (28)$$

$$X_1 = X_B \exp(-0,15 t_{\text{тр}}^{0,3}). \quad (29)$$

Выполненные по 100 пробам исследования метаноспособности угля в зоне выемки и остаточной метаноспособности угля, выданного из подготовительных выработок, позволили установить зависимости для их определения от основных природных и горнотехнических факторов, которые имеют вид (рис. 4).

Таким образом, на основании выполненных исследований уточнена методика прогноза метанообильности подготовительных выработок при проведении их по надработанным угольным пластам. Эта методика отличается от существующих тем, что позволяет учитывать влияние изменения фильтрационных свойств угольного массива, обусловленного на-

дработкой, на метановыделение с обнаженных поверхностей пласта и отбитого угля. Реализация разработанной методики на практике позволит повысить достоверность прогноза метановыделения в подготовительные выработки, проводимые по надработанным угольным пластам.

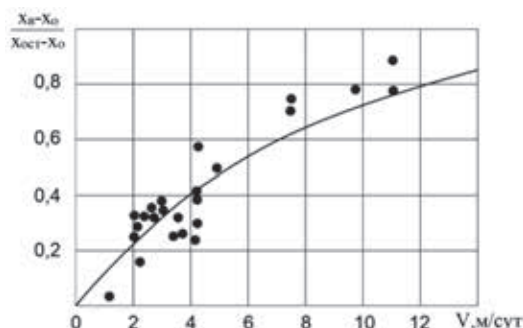


Рис. 4. Изменение относительной величины метаноносности угля в зоне выемки в зависимости от скорости продвижения подготовительных выработок /

Fig. 4. Change in the relative value of methane content of coal in the excavation area depending on the rate of advance of preparatory workings

Основное газовыделение в выработанное пространство разрабатываемого пласта происходит из зоны полных сдвижений. Высота зоны полных сдвижений зависит от горно-геологических и горнотехнических факторов. Характер изменения пористости в под- и надрабатываемой толще пород зависит от величины смещений, возникающих в результате отработки одного из пластов. В период процесса сдвижения пород под влиянием горных работ газовое давление изменяется по параболической зависимости, при этом начальное давление угленосной толщи изменяется по принятой гидростатической зависимости. Масштабы газовыделения в выработанное пространство из под- и надрабатываемых пластов и вмещающих пород зависят от газопроницаемости газового массива, напряженно-деформированного состояния и газового давления среды. Удельное газовыделение в начальный период происходит только за счет свободного газа угленосной толщи; после того, как пласт-спутник попал в зону полных сдвижений, газовыделение будет происходить в основном за счет десорбированного газа пласта-спутника.

Имеющиеся в настоящее время сведения о характере распределения напряженного состояния нетронутого горного массива довольно противоречивы и бессистемны. С одной стороны, в литературе отражен практический опыт ведения горных работ, который показывает наличие зональности газодинамических и геомеханических проявлений при разработке. Она обычно возникает на участках сложного залегания массива и вполне может быть обусловлена природными, то есть тектоническими аномалиями напряженного состояния пород. С другой стороны, ряд исследователей аргументировано отрицают саму возможность наличия в осадочных массивах остаточных напряжений тектонического происхождения. На этом основании они уделяют основное внимание техногенным и технологическим факторам, считая, что силовое поле нетронутого массива формируется исключительно гравитационными, то есть равномерно распределенными в его объеме силами.

Существование указанного противоречия привело к тому, что в отраслевых нормативных документах и инструкциях в настоящее время роль тектонической нарушенности, особен-

но пликативной, существенно занижена. При этом не объяснена зональность геомеханических и газодинамических проявлений при разработке, отсутствуют достоверные методы моделирования природной поверхности залегания массива, не раскрыта связь его формы с напряженным состоянием, не разработаны подходы по количественной оценке проявлений горного давления в выработках и т. д. Все это заставляет глубже исследовать напряженное состояние нетронутого массива, особенно в пликативно нарушенных зонах, в которых возможно накопление значительного объема метана [29, 30].

Геодинамические исследования [31, 32] нами проведены на шахте «Талдинская-Западная-1». Участок горного отвода шахты «Талдинская-Западная-1» приурочен к призмковой части Караканской синклинали. Ось складки простирается с северо-запада на юго-восток с пологим погружением на юго-восток. Призмковая часть складки – широкая с пологими углами падения крыльев. Углы падения крыльев различаются, в силу чего складка характеризуется ассиметричным строением. Оба крыла синклинали в основном имеют пологое падение, однако вблизи разрывных нарушений углы падения становятся более крутыми: до 30° – восточное ее крыло (вблизи крупного надвига IV) и до $40-60^\circ$ – западное крыло.

На других участках разрывная тектоника в пределах участка развита слабо. Упомянутое выше нарушение IV простирается на южном фланге участка. Амплитуда смещения крыльев нарушения IV по сместителю до 350 м. В кинематическом отношении нарушение IV представляет собой согласный надвиг, вдоль которого наблюдается зона нарушенных и дробленых пород. Мощность этой зоны изменяется от 6 до 30 м. На границе слияния с Воробьевским взбросом ее мощность увеличивается до 500 м. Этот разрыв оперяют несколько малоамплитудных согласных нарушений. Всего на исследуемом участке было выявлено 13 геодинамически активных структур, в той или иной степени влияющих на метаноносность шахты.

После геолого-геофизической интерпретации [33–35] результатов, проведенных в контуре выемочного столба 70-10 шахты «Талдинская-Западная-1» исследований, было выделено три участка по классам управляемости активной кровли, типам устойчивости пород непосредственной кровли и нагрузочным свойствам основной кровли. Разрушение тяжелых кровель сопровождается образованием многоярусной системы блоков в непосредственной и основной кровли пласта. В простейшем случае шаг обрушения непосредственной и основной кровли соответствует размерам обрабатываемых блоков, но при условии, когда $L_0/h_0 < 1$ (где L_0 и h_0 соответственно длина и высота блока), блоки могут зависать, образуя арочную систему. В этом случае шаг обрушения кровли не равен, но равен длине блоков, составляющих арочную систему. В образовавшихся зависших арочных системах скапливается метан, который впоследствии при посадке основной кровли способствует загазированию очистного забоя, что подтверждается проведенными исследованиями в условиях лавы 70-09 шахты «Талдинская-Западная-1» (более 70 % случаев загазирования).

Закключение

1. Установлена зависимость коэффициента газопроницаемости вмещающих пород от мощности пород междупластий, скорости продвижения очистного забоя и других горнотехни-

ческих факторов на основе аналитического решения обратной фильтрационной задачи о перетоке метана из под- и надрабатываемых пластов.

2. На основании выполненных исследований уточнена методика прогноза метанообильности подготовительных выработок при проведении их по надработанным угольным пластам. Эта методика отличается от существующих тем, что позволяет учитывать влияние изменения фильтрационных свойств угольного массива, обусловленного надработкой, на метановыделение с обнаженных поверхностей пласта и отбитого угля. Реализация разработанной методики на практике позволит повысить достоверность прогноза метановыделения в подготовительные выработки, проводимые по надработанным угольным пластам.

3. Наличие или близкое расположение к выемочным участкам высокопроизводительных очистных забоев, геодинамически активных структур, характеризующихся наличием зон напряженных горных пород, чередующихся с зонами ослабленных трещиноватых пород, являются важным факто-

ром риска при производстве подземных горных работ, так как вдоль этих структур с раздвиговой (реже – сдвиговой) кинематикой возможно проявление повышенных газовыделений.

Выводы

1. В статье приведены результаты исследований прогноза геодинамических и геомеханических процессов при отработке угольных пластов, влияющих на метановыделение в шахтах. Проведен анализ геомеханических процессов и установлены периоды неустановившегося и установившегося сдвижений подработанной и надработанной толщи горного массива. Установлено, что если размеры разгруженных зон по простиранию и падению не превышают протяженности активных зон, то вся поверхность спутника является активно газоотдающей поверхностью.

2. Результаты расчетов могут быть использованы при прогнозе газовой выделении из сближенных пластов, а также при проектировании вентиляции и дегазации выемочных участков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Li L, Liu D, Cai Y, et al. Coal structure and its implications for coalbed methane exploitation: a review. *Energy & Fuels*. 2020;35(1):86-110. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.0c03309.
- Yang F, Xu S. Sedimentation and Reservoirs of Marine Shale in South China. *Springer*. 2024; 225. DOI: 10.1007/978-981-97-5361-1.
- Боговявленский ВИ. Природные и техногенные угрозы при освоении месторождений горючих ископаемых в криолитосфере Земли. *Горная промышленность*. 2020;(1):97-118. DOI: 10.30686/1609-9192-2020-1-97-118. [Bogoyavlensky VI. Natural and man-made threats during development of fossil fuel deposits in the Earth's cryolithosphere Mining industry. 2020;(1):97-118. (In Russ.)]
- Ning S, Guo J, Wu W, et al. Investigation into the pore structures and CH₄ adsorption capacities of clay minerals in coal reservoirs in the Yangquan Mining District, North China. *Open Geosciences*. 2022;14(1):833-46. doi: 10.1515/geo-2022-0395
- Гресов АИ, Яцук АВ. Газовая зональность и газоносность многолетнемерзлых отложений угленосных бассейнов Восточной Арктики и прилегающих регионов. *Геоэкология. Инженерная Геология. Гидрогеология. Геокриология*. 2013;5:387-98. [Gresov AI, Yatsuk AV. Gas zoning and gas content of permafrost deposits of coal basins of the Eastern Arctic and adjacent regions. *Geoecology. Engineering Geology. Hydrogeology. Geocryology*. 2013;5:387-98. (In Russ.)]
- Shen Y, Qin Y, Guo Y, et al. Characteristics and sedimentary control of a coalbed methane-bearing system in Lopingian (late Permian) coal-bearing strata of western Guizhou province. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2016;33:8-17. DOI: 10.1016/j.jngse.2016.04.047.
- Гресов АИ, Обжиров АИ, Яцук АВ. К вопросу водородности угольных бассейнов Дальнего Востока. *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*. 2010;1(5):19-32. [Gresov AI, Obzhiriov AI, Yatsuk AV. On the issue of hydrogen content of coal basins of the Far East. *Bulletin of KRAUNC. Earth Sciences*. 2010;1(5):19-32 (In Russ.)]
- Zhang XG, Ranjith PG, Perera MSA, et al. Gas transportation and enhanced coalbed methane recovery processes in deep coal seams: a review. *Energy & Fuels*. 2016;30(11):8832-49. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.6b01720.
- Лискова МЮ. Движение газозооных смесей по выработанным пространствам. *ГИАБ*. 2017;(7):131-6. [Liskova MYu. Movement of gas-air mixtures through mined-out spaces. *GIAB*. 2017;(7):131-6. (In Russ.)] DOI: 10.25018/0236-1493-2017-7-0-131-136.
- Mineev S, Filatieva E, Oleinichenko A, et al. On the relationship between gas emission from undermined coal-bearing stratum and the intensity of coal seam mining. *E3S Web of Conferences*. 2021;280:08017. DOI:10.1051/E3Sconf/202128008017.
- Тризно СК. Влияние параметров подработки на газовыделение из пластов спутников. *ГИАБ*. 1999;1. [Trizno SK. Influence of undermining parameters on gas emission from satellite formations. *GIAB*. 1999;1. (In Russ.)]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-parametrov-podrabotki-na-gazovydelenie-iz-plastov-sputnikov>.
- Hamid YS. Progressive collapse of double layer space trusses. *Surrey*, 2015: 24. URL: <https://www.proquest.com/openview/049628bcc4e178c671ae4c449f52151/1?cbl=51922&pq-origsite=gscholar>.
- Kumar R, Singh AK, Mishra AK, et al. Underground mining of thick coal seams. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2015;25(6):885-96. DOI: 10.1016/j.ijmst.2015.09.003
- Фам Дик Тханг, Фан Туан Ань, Коликов КС. Зависимость метаносности и относительной метанообильности угольных пластов на шахте Мао Хе от глубины их залегания. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2020;6-1:26-37. [Fam Dik Thang, Fan Tuan An', Kolikov KS. Methane content and relative methane releasability versus occurrence depth of coal seams in Mao Khê mine. *MIAB*. 2020;(6-1):26-37 (In Russ.)]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-26-37.
- Гаврилов ВИ. Разработка способа дегазации газонасыщенных пологих угольных пластов гидродинамическим воздействием. *Горные науки и технологии*. 2019;4(3):160-71. [Gavrilov VI. Development of a hydrodynamic method for degassing of gas-saturated flat-lying coal seams. *Mining Science and Technology*. 2019;4(3):160-71 (In Russ.)]. DOI: 10.17073/2500-0632-2019-3-160-171.
- Zhang Y, Feng G, Zhang M, et al. Residual coal exploitation and its impact on sustainable development of the coal industry in China. *Energy Policy*. 2016;96:534-41. DOI: 10.1016/J.ENPOL.2016.06.033.
- Копбалина КБ, Маженов НА, Кенетаева АА. Закономерности современного распределения природных газов в угленосных толщах и их использование при изучении газоносности вмещающих пород. *Актуальные научные исследования в современном мире*. 2021;4-2(72):105-13. [Kopbalina KB, Mazhenov NA, Kenetaeva AA. Regularities of modern distribution of natural gases in coal-bearing strata and their use in studying the gas content of host rocks. *Current scientific research in the modern world*. 2021;4-2(72):105-13. (In Russ.)]

18. Yang Wang, Yanming Zhu, Yu Liu, et al. Reservoir characteristics of coal-shale sedimentary sequence in coal-bearing strata and their implications for the accumulation of unconventional gas. *Journal of Geophysics and Engineering*. 2018;15(2):411-20. DOI: 10.1088/1742-2140/AA9A10.
19. Свирко СВ. О влиянии скорости подвигания очистного забоя на процессы сдвижения земной поверхности. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2016;3(115):51-63. [Svirko SV. On the influence of the speed of advancement of the production face on the processes of earth's surface displacement. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2016;3(115):51-63 (In Russ.)]
20. Ларченко ВГ, Маталкина ЮА, Шпакова АО. Определение продолжительности процесса сдвижения подработанной толщи пород и земной поверхности. *Наукоемкие технологии и оборудование в промышленности и строительстве*. 2023;73. [Larchenko VG, Matalkina YuA, Shpakova AO. Determining the duration of the process of displacement of the underworked rock mass and the earth's surface. *High-tech technologies and equipment in industry and construction*. 2023;73 (In Russ.)]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-prodolzhitelnosti-protsessa-sdvizheniya-podrobotannoy-tolschi-porod-i-zemnoy-poverhnosti>.
21. Бирюков ЮМ, Ходжаев РР, Пименов АА и др. Проблемы добычи метана из угольных пластов. Калининград, 2008: 310. [Biryukov YuM, Khodzaev RR, Pimenov AA, et al. Problems of Methane Extraction from Coal Seams. Kaliningrad, 2008: 310 (In Russ.)]
22. Бирюков ЮМ, Садчиков ВА, Садчиков АВ. Управление газовыделением на горных отводах ликвидированных угольных шахт. Калининград, 2008, 186. [Biryukov YuM, Sadchikov VA, Sadchikov AV. Gas Emission Control in Mining Allocations of Abandoned Coal Mines. Kaliningrad, 2008, 186. (In Russ.)]
23. Кузнецов СВ, Кригман РН. Природная проницаемость угольных пластов и методы ее определения. Москва, 1978: 122. [Kuznetsov SV, Krigman RN. Natural Permeability of Coal Seams and Methods of Its Determination. Moscow, 1978: 122 (In Russ.)]
24. Лейбензон ЛС. Собрание трудов. Москва, 1953: 544. [Leibenzon LS. Collected Works. Moscow. 1953: 544 (In Russ.)]
25. Руководство по проектированию вентиляции шахт. Москва, 1975: 237. [Guidelines for Mine Ventilation Design. Moscow, 1975: 237. (In Russ.)]
26. Ефремов КА, Одноруков ГФ, Маловинский ЕС. Шахтный герметический кернонаборник ВостНИИ: *Тр. ВостНИИ. Вопросы безопасности в угольных шахтах*. 1976;VIII:48-54. [Efremov KA, Odnorukov GF, Malovinsky ES. East Research Institute's Hermetic Core Sampler. *Proceedings of East Research Institute. Issues of Safety in Coal Mines*. 1967;VIII:48-54. (In Russ.)]
27. Фоминых ЕИ, Сыздыков ФТ, Кизряков АД. Определение метаносности угольных пластов по газовыделению в подготовительные выработки. *Научные труды КО ВостНИИ. Способы управления газовыделением на шахтах Карагандинского бассейна*. 1971;(2):28-32. [Fominykh EI, Syzdykov FT, Kizryakov AD. Determination of Methane Content in Coal Seams Based on Gas Emission in Development Workings. *Scientific Works. KO East Research Institute. Methods of Gas Emission Control in Mines of the Karaganda Basin*. 1971;(2): 28-32 (In Russ.)]
28. Пузырев ВН, Стекольников ГТ, Рудаков ВА и др. Внезапные прорывы и экстремальные выделения метана в лавы из надрбатываемых и подработываемых высокогазоносных пластов (прогноз, предотвращение и локализация газовой опасности). Кемерово, 1998: 93. [Puzirev VN, Stekolshchikov GG, Rudakov VA, et al. Sudden Outbursts and Extreme Methane Emissions in Longwalls from Overlying and Underlying High-Gas Seams (Forecasting, Prevention, and Localization of Gas Hazards). Kemerovo, 1998: 93 (In Russ.)]
29. Воскобоев ФН, Джигрин АВ, Клишин ВИ и др. Технологические решения по активному управлению геомеханическими процессами в угольных шахтах. Тула, 2015: 438. [Voskoboev FN, Dzhigrin AV, Klishin VI, et al. Technological Solutions for Active Control of Geomechanical Processes in Coal Mines. Tula, 2015: 438 (In Russ.)]
30. Кудинов ЮВ, Джигрин АВ, Исаев ИР и др. Средства и способы повышения эффективности и безопасности шахтных дегазационных систем. Тула, 2017: 300. [Kudinov YuV, Dzhigrin AV, Isaev IR et al. Means and Methods for Improving the Efficiency and Safety of Mine Degasification Systems. Tula, 2017:300. (In Russ.)]
31. Гусева НВ, Киселев ВА, Шабаров АН и др. Прогноз возникновения негативных явлений в угольных шахтах на основе метода геодинамического районирования и искусственных нейронных сетей. *Маркшейдерский вестник*. 2016;6(115):34-8. [Guseva NV, Kiselev VA, Shabarov AN, et al. Prediction of the occurrence of negative phenomena in coal mines based on the method of geodynamic zoning and artificial neural networks. *Surveying Bulletin*. 2016;6(115):34-8. (In Russ.)]
32. Шувалов ЮВ, Ютяев ЕП и др. Геомеханические и газодинамические процессы в угленосном массиве при высоких скоростях подвигания очистных забоев. *ГИАБ*. 2011;6:80-8. [Shuvalov YuV, Yutyayev EP, et al. Geomechanical and gas-dynamic processes in a coal-bearing massif at high speeds of displacement of treatment faces. *GIAB*. 2011;6:80-8. (In Russ.)]
33. Рекомендации по определению параметров шага первичного обрушения основной и непосредственной кровли в очистных забоях на шахтах ОАО «Воркутауголь». Воркута, 2001: 22. [Recommendations for determining the parameters of the step of primary collapse of the main and immediate roof in the treatment faces at the mines of JSC Vorkutaugol. Vorkuta, 2001: 22 (In Russ.)]
34. Указания по управлению горным давлением в очистных забоях под (над) целиками и краевыми частями при разработке свиты угольных пластов мощностью до 3,5 м с углом падения до 350. Ленинград, 1984: 62. [Guidelines for controlling rock pressure in treatment faces under (above) the pillars and edge parts during the development of a coal seam formation with a capacity of up to 3.5 m with an angle of incidence up to 350. Leningrad, 1984: 62 (In Russ.)]
35. Портола ВА. Оценка проницаемости горных пород над отработанными пластами. *Вестник КузГТУ*. 2003;3:30-2. [Portola VA. Assessment of rock permeability over spent formations. *Bulletin of KuzSTU*. 2003;3:30-2 (In Russ.)]

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Михаил Григорьевич Лупий –

кандидат технических наук, генеральный директор АО «СУЭК-Кузбасс», 652507, г. Ленинск-Кузнецкий, Российская Федерация, e-mail: lupiygm@suek.ru

ABOUT THE AUTHOR

Mikhail G. Lupiy –

Cand. Sci. (Eng.), General Director of JSC «SUEK-Kuzbass», 652507, Leninsk-Kuznetsky, Russian Federation, e-mail: lupiygm@suek.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 23.01.2025. Поступила после рецензирования: 02.03.2025. Принята к публикации: 23.04.2025.

Article info

Received: 23.01.2025. Revised: 02.03.2025. Accepted: 23.04.2025.