

## ЗАВИСИМОСТЬ МЕТАНОНОСНОСТИ И ОТНОСИТЕЛЬНОЙ МЕТАНООБИЛЬНОСТИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ НА ШАХТЕ МАО ХЕ ОТ ГЛУБИНЫ ИХ ЗАЛЕГАНИЯ

Фам Дик Тханг<sup>1</sup>, Фан Туан Ань<sup>2</sup>, К.С. Коликов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Куангнинский индустриальный университет;

<sup>2</sup> Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва

**Аннотация:** Обеспечение метанобезопасности угледобычи является одной из основных проблем современной угольной отрасли. Достигнутые нагрузки формируют взрывоопасные ситуации даже при незначительных величинах газоносности. Дегазация при разрабатке газоносных угольных пластов, являясь обязательным элементом технологии угледобычи, позволяет перейти к комплексному освоению ресурсов углегазовых месторождений, обеспечивая не только безопасные условия отработки, но и возможность утилизации шахтного метана. Выполнен анализ подходов в вопросах нормирования концентрации метана в исходящих вентиляционных струях и категорирования угольных шахт, применяемых в основных угледобывающих странах. На основе анализа результатов шахтных измерений выполнена оценка динамика метаноносности и относительной метанообильности угольных пластов на шахте Мао Хе. Определены зависимости метаноносности от глубины залегания угольных пластов. С учетом горно-геологических условий шахты рассмотрены перспективные технологии дегазации, базирующиеся на повышении проницаемости угольных пластов, а также необходимые изменения требований к информации при ведении геолого-разведочных работ для внедрения новых методов прогноза метанообильности. Рассмотрены основные проблемы применения заблаговременной дегазации угольных пластов. Обоснована актуальность проведения дегазации для шахты Мао Хе.

**Ключевые слова:** метанобезопасность, относительная метанообильность, газоносность, дегазация, глубина, взрыв, нагрузка, метановыделение, использование, шахта Мао Хе.

**Для цитирования:** Фам Дик Тханг, Фан Туан Ань, Коликов К.С. Зависимость метаноносности и относительной метанообильности угольных пластов на шахте Мао Хе от глубины их залегания // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 6-1. – С. 26–37. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-26-37.

### Methane content and relative methane releasability versus occurrence depth of coal seams in Mạo Khê mine

Fam Dik Thang, Fan Tuan An', Kolikov K.S.

<sup>1</sup> Quang Ninh University of Industry, Quang Ninh, Viet Nam;

<sup>2</sup> National university of science and technology «MISIS», Moscow, Russia

**Abstract:** Methane is one of the critical safety concerns in the modern coal mining industry. The current outputs per coal faces induce risk of explosion even at low gas content of coal.

© Фам Дик Тханг, Фан Туан Ань, К.С. Коликов. 2020.

Methane drainage is an obligatory component of a coal mining technology; it enables full conversion of coal resources into coal reserves, safe operation of coal mine and utilization of coal methane. The approaches to introduction of norms on methane concentration in return ventilation air and to rating of coal mines by the gas criterion in the leading coal-producing countries are reviewed. Based on the analysis of underground measurements, the content and relative releasability of are estimated as functions of the occurrence depth of coal seams in Mao Khê mine. The methane content–occurrence depth curves are obtained. Considering the geological conditions of the mine, the promising degassing technologies based on enhancement of coal permeability are discussed, and the required modification of standards to be imposed on geological exploration data for the purpose of introduction of new methane content prediction methods is described. The main problems of pre-mine drainage of methane are examined. The urgent nature of methane drainage in Mao Khê mine is validated.

**Key words:** methane-concentred safety, relative methane releasability, gas content, methane drainage, depth, explosion, output, methane release, utilization, Mao Khê mine.

**For citation:** Fam Dik Thang, Fan Tuan An', Kolikov K.S. Methane content and relative methane releasability versus occurrence depth of coal seams in Mao Khê mine. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(6-1):26-37. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-26-37.

## Введение

Добыча угля в газообильных шахтах осложняется газовым фактором, который лимитирует нагрузки очистных забоев и создает более опасные условия труда, обусловленные возможностью вспышек и взрывов метановоздушных смесей [1–3]. Для решения проблемы обеспечения метанобезопасности необходимо учитывать особенности геологического залегания угольных пластов, их газодинамическое состояние, горно-технические условия разработки пластов угля, применяемую в очистных забоях технику, а также выявлять взаимосвязь между производительностью очистных забоев и интенсивностью метановыделения на выемочных участках. Все эти факторы и взаимосвязи между ними оказывают существенное влияние на технико-экономические показатели отработки угольных участков и рентабельность шахт [4–7].

Мировая практика разработки газоносных месторождений угля показала, что обеспечение эффективной и безопасной отработки базируется на использовании в забоях высокопроизводительного и надежного угледо-

бывающего оборудования, устойчивых схем проветривания выработок выемочного участка и высокоэффективных способов и средств дегазации угольных пластов и выработанных пространств. Такая техническая политика разработки газоносных месторождений угля взята за основу и на перспективных шахтах Вьетнама, большая часть которых с углублением горных работ являются весьма метанообильными [8, 9].

Тенденции изменения метаносности угольных пластов от глубины залегания прогнозируются на основе результатов обработки данных многолетней статистики. Изменение метаносности угольных пластов с глубиной их залегания описывается уравнением гиперболы [10, 11]. При этом допускается аппроксимация основополагающего уравнения Ленгмюра линейными зависимостями на относительно небольших интервалах глубин, когда уравнение сорбции подчиняется закону Генри.

Однако опыт прогноза метановыделения показывает, что данный подход дает значительные погрешности, особенно при существенном изменении

нагрузки на очистные забои или горно-геологических условий. Корректный прогноз метанообильности является необходимым условием для обеспечения безопасности и эффективности технологии подземной отработки угольных пластов. При этом необходимо учитывать не только газоносность угольного пласта, но и его проницаемость, давление газа, а также сорбционно-кинетические параметры угля [12, 13].

### **Нормирование содержания метана и категорирование шахт**

Отличительной особенностью подземной добычи угля на современном этапе являются широкие диапазоны изменения горно-геологических и горнотехнических условий, определяющих технико-экономическую эффективность разработки запасов угля. Так, глубина разработки, как правило, определяющая газоносность разрабатываемых пластов, изменяется от первых сотен метров практически до полутора километров. Метаноносность угольных пластов изменяется от полного отсутствия до 30 м<sup>3</sup>/т и более. Проницаемость угольных пластов от тысячных долей до десятков миллиардов. При этом нагрузки на очистные забои достигают 50 и более тысяч тонн в сутки, что приводит к кардинальному изменению газообильности добычных участков. Так, на шахте им. Ялевского (АО «СУЭК-Кузбасс») при отработке лавы с нагрузкой 30 тыс. т/сут метанообильность добычного участка достигала 100 м<sup>3</sup>/мин и более. Метаноносность пласта не превышала 10 м<sup>3</sup>/т, вентиляцией удалялось порядка 10 м<sup>3</sup>/мин. Высокая газообильность добычных участков приводит к частым остановкам очистных работ при превышении допустимой концентрации метана [14]. При этом современные средства контроля метана позволяют оперативно

реагировать на изменение обстановки с погрешностью, не превышающей  $\pm 0,1$  %.

Вопросы обеспечения метанобезопасности являются одними из основных при отработке угольных месторождений, учет опыта решения данной проблемы позволяет повысить эффективность и избежать возможных ошибок. Однако необходимо учитывать и специфические, и исторические особенности различных стран. Так, в ряде стран мира, таких как США, Германия, Англия, Австралия, Китай, Украина и др. были приняты предельно допустимые значения концентрации метана на исходящих струях выемочных участков до 1,3–2,0 % (табл. 1 [15]).

Следует отметить, что сама величина допустимой концентрации метана в атмосфере горных выработок не определяет уровня безопасности ведения горных работ. Основой обеспечения безопасных условий ведения горных работ является использование эффективных систем управления газовыделением, соответствующая условиям организация ведения горных работ.

Опыт перехода на более высокие значения порога отключения электроэнергии аппаратурой газовой защиты с 1 до 1,3 %, который осуществлен в Казахстане, показал ряд положительных результатов:

- снизилось количество остановок комбайна из-за превышений предельного содержания концентрации метана в исходящей струе лавы;
- повысилась эффективность добычного участка за счет более ритмичной работы комбайна;
- повысилась нагрузка на очистной забой за счет увеличения времени работы добычного комбайна.

В разных странах наблюдаются значительные отличия и в решении вопросов категорирования шахт. Так, в Российской

Таблица 1

**Примеры предписываемых и рекомендуемых предельных значений концентраций метана**  
**Examples of prescribed and recommended limit values for methane concentrations**

| Предельные значения пожароопасных концентраций метана   | Австралия | Китай | Германия | Индия | Южная Африка | Соединенное Королевство | США  | Коэффициент безопасности <sup>a</sup> |
|---|-----------|-------|----------|-------|--------------|-------------------------|------|---------------------------------------|
| Максимальные значения, ниже которых разрешается проведение работ в шахте в целом, %                         | 1,25      | 1,0   | 1,0      | 1,25  | 1,4          | 1,25                    | 1,0  | 3,6 – 5,0                             |
| Максимальные значения, ниже которых разрешается проведение работ в выработках с исходящей струей воздуха, % | 2,0b      | 1,5g  | 1,5      | 0,75  | 1,4          | 2,0b                    | 2,0b | 2,5 – 6,7                             |

*Примечания:* a – коэффициенты безопасности; b – при отсутствии электропитания; g – 2,5 % для выработок с исходящей струей воздуха.

Федерации выделяют 5 категорий газовых шахт, для четырех из которых (I–III и сверхкатегорные) критерием является относительная метанообильность, а пятая выделяет шахты, опасные по внезапным выбросам. Аналогично осуществляется категорирование шахт в угольной отрасли Вьетнама, где газовые шахты также разделяются на пять категорий. В большинстве стран основное отличие связано с оценкой выбро-соопасности. Лама [16] определил, что пороговым значением метаноносности, при котором может произойти выброс, является 8 м<sup>3</sup>/т. Во Франции, Германии и Мексике по опыту отработки угольных пластов эта величина была скорректирована до 9 м<sup>3</sup>/т.

В Австралии (штат Новый Южный Уэллс), применение традиционной технологии угледобычи в соответствии с требованиями [17] допускается, если содержание метана в пласте не превышает 9 м<sup>3</sup>/т, а углекислого газа – 5 м<sup>3</sup>/т. При метаноносности от 9 до 12 м<sup>3</sup>/т необходимо проведение мероприятий по предотвращению внезапных

выбросов, а при более высоких значениях отработка разрешается только с применением безлюдной технологии. Следует отметить, что во многом преобладает подход, разработанный компанией «ГеоГАЗ» («GeoGAS»), предусматривающий определение количества газа, выделяющегося при разрушении керна угля, отбираемого в герметичный сосуд, до величины меньше 200 мкм в течение 30 сек. Данная величина и является индексом DRI (Desorption Rate Index), определяющим уровень безопасности. Критической величиной был принят 900DRI, т.е. выделение 900 мл метана при разрушении образца. В зависимости от марки угля и процентного содержания газа (CH<sub>4</sub> или CO<sub>2</sub>) уровень безопасности может быть меньше или больше 9 м<sup>3</sup>/т при 100 % CH<sub>4</sub> и 6 м<sup>3</sup>/т при 100 % CO<sub>2</sub>. Например, в штате Квинсланд уровень безопасности при 100 % CH<sub>4</sub> установлен около 6–7 м<sup>3</sup>/т, а не 9 м<sup>3</sup>/т, как в Сиднее. При этом разделения шахт по уровню газоносности нет. Такой подход представляется более коррект-

ным с точки зрения метанобезопасности, т.к. газовую обстановку определяют в основном нагрузка на очистной забой и горно-геологические условия.

Аналогичный подход планируется использовать в Республике Казахстан. Так, статья 153 Кодекса «О недрах и недропользовании» предусматривает введение с 01.01.2021 запрета разработки угля с повышенной метаноносностью, уровень которой еще не установлен.

В настоящее время сохранение категорирования шахт в нашей стране во многом определяется установившимися правилами налогообложения, а не физического смысла процессов, связанных с обеспечением метанобезопасности.

### **Зависимость метаноносности угольных пластов шахты Мао Хе от глубины залегания**

В настоящее время горные работы на шахте Мао Хе ведутся на горизонте –150/–80 м, планируемое углубление горных работ до горизонта –400 м. Даже на действующих горизонтах вопрос обеспечения воздухом является крайне актуальным [18, 19]. При дальнейшем углублении действующая система вентиляции не обеспечит требуемого содержания метана в атмосфере выработок без проведения дегазации угольных пластов и вмещающих пород.

Метаноносность угольных пластов на шахте Мао Хе определялась на основе как шахтных экспериментов, так и расчетным путем. Результаты определения метаноносности угольных пластов и измерений содержания метана, выполненные при доразведке угольных пластов на шахте Мао Хе в 2018 году, представлены на рис. 1.

Анализ результатов определения метаноносности угольных пла-

стов шахты Мао Хе, представленных на рис. 1, показывает, что она закономерно увеличивается с глубиной.

Статистическая обработка данных, приведенных на рис. 1, позволила построить кривые, отражающие связь метаноносности с глубиной залегания угольных пластов (рис. 2), а также установить зависимости метаноносности угольных пластов от глубины их залегания на шахте Мао Хе (табл. 2).

Установленные зависимости могут быть использованы для прогноза метанообильности подготовительных и очистных забоев, прогноза параметров и оценки эффективности дегазации, а также для оценки остаточных ресурсов метана.

Кроме этого, для текущего уточнения категории по метану на шахте Мао Хе выполняют измерения газообильности для оценки относительного метановыделения при ведении горных работ. Результаты расчета относительного метановыделения в горных выработках угольных пластов представлены в табл. 3.

Таким образом наибольшее относительное метановыделение наблюдается на угольных пластах 9Т, 9ТВII, 10ТВII, 9D, 5Т, 1СВ и 10D, 10СВ, где оно превышает  $10 \text{ м}^3/\text{т}$ .

### **Перспективы решения проблемы**

В этих условиях действующий подход прогноза метановыделения целесообразно применять при незначительных изменениях горно-геологических и горнотехнических условий. При этом используют данные геологоразведки, которые предусматривают только определение пористости и природной газоносности угольных пластов. При значительных изменениях горно-геологических условий для корректного прогноза метановыделения необходимо учитывать давление газа в поровом пространстве и кинетику сорбции

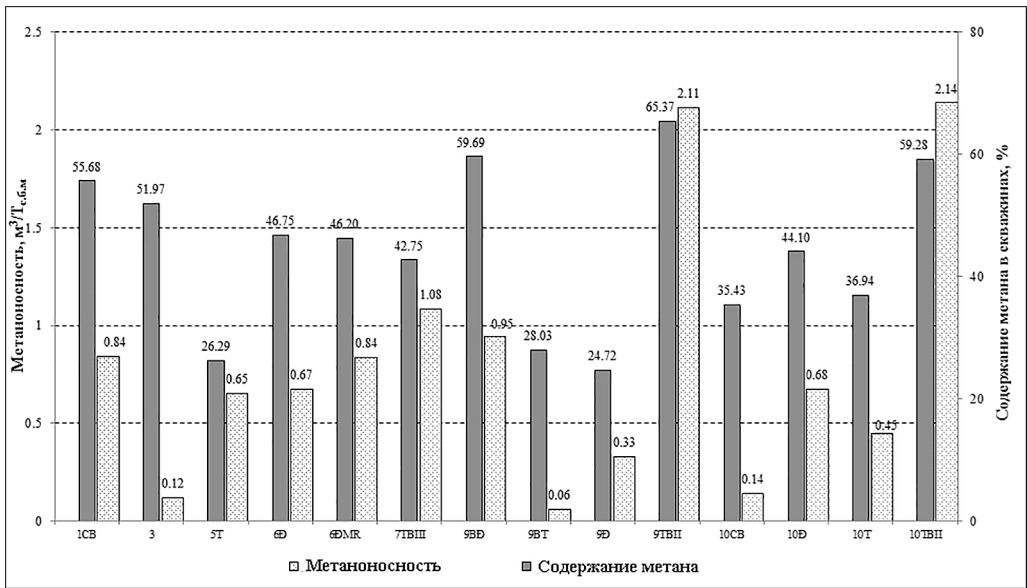


Рис. 1. Метаноносность и содержание метана в скважинах на шахте Мао Хе  
 Fig. 1. Methane content and methane content in the wells at the mine, Mao Xhe

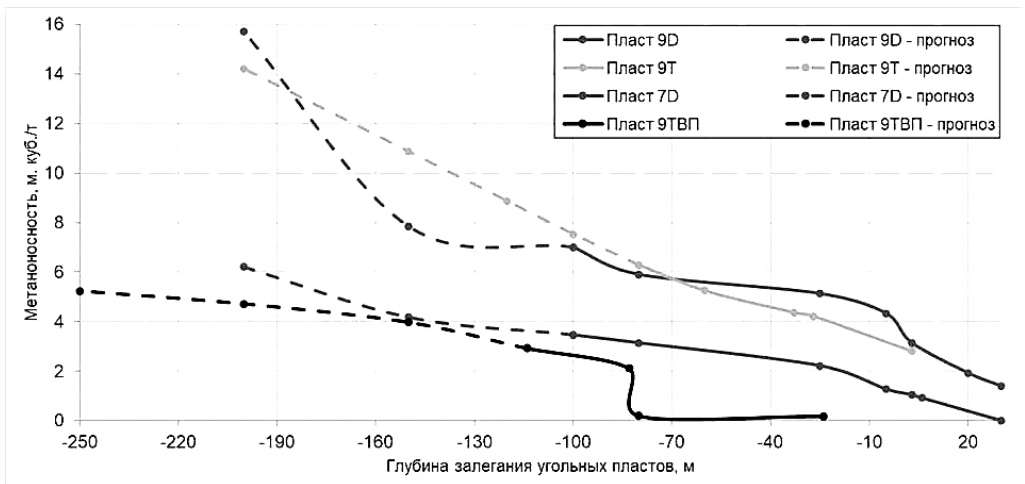


Рис. 2. Изменение метаноносности угольных пластов шахты Мао Хе  
 Fig. 2. Change in methane content of coal seams in the Mao Xhe mine

(параметры сорбции Ленгмюра). В этом случае прогноз метаноносности может осуществляться в соответствии с рекомендациями [20].

Следует отметить, что на современном этапе с точки зрения безопасности, экологии и комплексного освоения угольные месторождения необходимо

рассматривать как углегазовые. Это требует кардинальных изменений в геологоразведочной информации, т.е. исходные данные должны обеспечивать не только решение вопросов обеспечения метанобезопасной добычи угля, но и освоения нетрадиционного ресурса – метана угольных месторождений.

Данные измерений и прогноза метаноносности угольных пластов «9D», «9T», «7D» и «9ТВII»  
**Data of measurements and forecast of methane content of coal seams «9D», «9T», «7D» and «9ТВII»**

| Глубина   | Пласт 9D   |         |   | Пласт 9T   |         |   | Пласт 7D   |         |   | Пласт 9ТВII  |         |   |
|---|--|---------|---|--|---------|---|--|---------|---|--|---------|---|
|   | Мета-ноносность м <sup>3</sup> /т <sub>с.б.м</sub> | Глубина | Прогноз метаноносности м <sup>3</sup> /т <sub>с.б.м</sub> | Мета-ноносность м <sup>3</sup> /т <sub>с.б.м</sub> | Глубина | Прогноз метаноносности м <sup>3</sup> /т <sub>с.б.м</sub> | Мета-ноносность м <sup>3</sup> /т <sub>с.б.м</sub> | Глубина | Прогноз метаноносности м <sup>3</sup> /т <sub>с.б.м</sub> | Мета-ноносность м <sup>3</sup> /т <sub>с.б.м</sub> | Глубина | Прогноз метаноносности м <sup>3</sup> /т <sub>с.б.м</sub> |
| 30  | 1,4  | 3       | 2,81  | 30   | 0,01    | 0,01  | 0,01   | -24     | 0,179   | 0,179  | -24     | 0,179   |
| 20  | 1,93   | -27     | 4,22  | 6  | 0,92    | 0,92  | 0,92   | -80     | 0,194   | 0,194  | -80     | 0,194   |
| 3   | 3,14   | -33     | 4,37  | 3  | 1,05    | 1,05  | 1,05   | -83     | 2,114   | 2,114  | -83     | 2,114   |
| -5  | 4,34   | -60     | 5,25  | -5   | 1,28    | 1,28  | 1,28   | -114    | 2,934   | 2,934  | -114    | 2,934   |
| -25   | 5,13   | -80     | 6,28  | -25  | 2,22    | 2,22  | 2,22   | -150    |   |  | -150    |   |
| -80   | 5,9  | -100    |   | -80  | 3,14    | 7,53  | 3,14   | -200    |   |  | -200    |   |
| -100  | 7,0  | -120    |   | -100   | 3,46    | 8,86  | 3,46   | -250    |   |  | -250    |   |
| -150  |  | -150    | 7,84  | -150   |         | 10,86   |  |         |   |  |         |   |
| -200  |  | -200    | 15,7  | -200   |         | 14,2  |  |         |   |  |         |   |
| Зависимости метаноносности от глубины залегания |  |         |   |  |         |   |  |         |   |  |         |   |
| $y = -4E - 0,6x^3 - 0,0008x^2 - 0,0686x + 3,89$ |  |         | $y = 2E - 0,7x^3 + 0,0002x^2 - 0,0297x + 3,043$           |  |         | $y = -1E - 0,6x^3 - 0,0003x^2 - 0,0375x + 1,2558$         |  |         | $y = 1E - 0,6x^3 + 0,0003x^2 + 0,0035x - 0,0391$          |  |         |   |
| Коэффициент детерминации, R <sup>2</sup>        |  |         |   |  |         |   |  |         |   |  |         |   |
| 0,989   |  |         | 0,998   |  |         | 0,996   |  |         | 0,915   |  |         |   |

Примечание: y – метаноносность угля, м<sup>3</sup>/т с.б.; x – глубина залегания угольных пластов, м.

Таблица 2

**Относительное метановыделение в горных выработках**

| №  | Пласт   | Глубина отметки | Относительное метановыделение ( $\text{м}^3/\text{Т}_{\text{сут}}$ ) |
|----|---------|-----------------|--|
| 1  | 1СВ     | -76/+50         | 11,99  |
|    |         | -150/-76        | 9,81   |
| 2  | 5Т      | -150/-80        | 10,34  |
| 3  | 6D      | -150/-80        | 8,66   |
| 4  | 6DMR    | -150/-80        | 6,13   |
| 5  | 7ТВIII  | -150/-80        | 8,93   |
| 6  | 9D      | -150/-80        | 13,05  |
| 7  | 9Т      | -150/-80        | 15,03  |
| 8  | 9ТВII   | -150/-80        | 16,80  |
| 9  | 9СN     | -80/-25         | 7,10   |
| 10 | 10СВ    | -25/+32         | 7,02   |
|    |         | -80/-25         | 10,26  |
| 11 | 10D     | -80/-25         | 10,36  |
| 12 | 10Т     | -150/-80        | 2,05   |
| 13 | 10ТВII  | -80/-25         | 15,18  |
| 14 | 10ТВIII | -150/-80        | 9,33   |

При этом особенностью технологий освоения данного ресурса является необходимость учета последующей отработки запасов угля.

Основой комплексного и безопасного освоения углегазовых месторождений является технология заблаговременной дегазационной подготовки угольных пластов [21, 22].

Данная технология обеспечивает извлечение газа в течение 10 лет и более при концентрации метана 95–100 %, снижение газообильности горных выработок достигает 75–80 %. Снижение метаноносности дегазируемого угольного пласта может достигать 50–60 %. Однако, несмотря на высокую эффективность, способ не нашел широкого применения из-за значительных долгосрочных капитальных вложений для его реализации и недостаточной стабильности результатов при его применении в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях [23].

В настоящее время осуществляется внедрение данной технологии на шахте

им. С.М. Кирова (АО «СУЭК-Кузбасс»). Перспективным с точки зрения обеспечения дегазации всего выемочного участка представляется сочетание гидрорасчленения с поверхности и подземного гидроразрыва с освоением и дегазацией разрабатываемого пласта скважинами из подземных горных выработок [24].

### Выводы

На современном этапе развития угольной отрасли при прогнозе метанообильности необходимо учитывать не только газоносность угольных пластов, но и сорбционно-кинетические параметры угля.

Анализ результатов исследований метаноносности угольных пластов на шахте Мао Хе показали, что метаноносность закономерно увеличивается с глубиной горных работ, а по пластам 9Т, 9ТВII, 10ТВII, 9D, 5Т, 1СВ и 10D, 10СВ превышает 10  $\text{м}^3/\text{т}$ . Программа ведения горных работ на шахте Мао Хе предусматривает значительное



углубление разработки и повышение нагрузки на очистные забои, что требует эффективного решения вопросов обеспечения аэрологической безопасности. При незначительном повышении нагрузок применяемый в настоящее время способ прогноза метанообильности обеспечивает корректную оценку, однако в перспективе целесообразно использовать способы, учитывающие

коллекторские характеристики угольных пластов, газовое давление и кинетику десорбции метана.

Для обеспечения метанобезопасности при отработке угольных пластов с высокой метаноносностью на шахте Мао Хе необходимо использование дегазационной подготовки, которая в конечном итоге позволяет перейти к комплексному освоению углегазовых месторождений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рубан А.Д., Артемьев В.Б., Забурдяев В.С., Захаров В.Н., Логинов А.К., Ютяев Е.П. Подготовка и разработка высокогазоносных угольных пластов. — М.: Горная книга. 2010.-500 с.
2. Баловцев С.В. Оценка схем вентиляции с учетом горно-геологических и горнотехнологических условий отработки угольных пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — №6. — С. 173–183. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-06-0-173-183.
3. Baisheng Nie, Xianfeng Liu, Shaofei Yuan, Boqing Ge, Wenjie Jia et al. Sorption characteristics of methane among various rank coals: impact of moisture // Adsorption. 2016. Vol. 22. No. 3. P. 315–325.
4. Забурдяев В.С. Метановыделение в очистных забоях при высокой нагрузке на лаву// ГИАБ. Тематическое приложение «Метан». — 2006. — С.191–205.
5. Haijun Guo, Yuanping Cheng, Liang Wang, Shouqing Lu, Kan Jin. Experimental study on the effect of moisture on low-rank coal adsorption characteristics// Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2015. Vol. 24. P. 245–251.
6. Фам Дик Тханг, Виткалов В.Г., Фам Нгок Хюнь. Стратегия развития угольной промышленности и возможность применения механизированной технологии добычи угля в Куангнинском угольном бассейне Вьетнама// ГИАБ. -2018. -№8.- С. 65–70.
7. Новоселов С.В., Панихидников С.А. Основной путь ликвидации взрывов метана в высоконагруженных очистных забоях угольных шахт опасных по газу — предупреждение создания взрывоопасной метановоздушной смеси // Уголь. — 2018. — №4. — С. 31–35.
8. Хынг Б.В. Метаноопасность на шахтах Вьетнама и мероприятия по ее предупреждению// ГИАБ. — 2015. — №2. — С.243–246.
9. Van Thinh Nguyen, Waldemar Mijal, Vu Chi Dang, and Thi Tuyet Mai Nguyen. Methane content estimation in DuongHuy coal mine. E3S Web of Conferences 35, 01005 (2018).
10. Рубан А.Д., Забурдяев В.С., Матвиенко Н.Г., Артемьев В.Б. Основы проектирования дегазации угольных шахт и рудников России / А.Д. Рубан, В.С. Забурдяев, Н.Г. Матвиенко, В.Б. Артемьев. — Москва : Горное дело : Киммерийский центр, 2011. — 271 с.
11. Слостунов С.В, Коликов К.С., Каркашадзе Г.Г., Ермак Г.П. Извлечение и использование шахтного метана — основа рациональной разработки угольных месторождений// ГИАБ. — 2014. - № 5. — С. 235–239.
12. Qi Lingling, Tang Xu, Wang Zhaofeng, Peng Xinshan. Pore characterization of different types of coal from coal and gas outburst disaster sites using low temperature nitrogen adsorption approach // International Journal of Mining Science and Technology. 2017. Vol. 27. P. Iss. 2. P. 371–377.
13. Yili Kang, Fansheng Huang, Lijun You, Xiangchen Li, Bo Gao. Impact of fracturing fluid on multi-scale mass transport in coalbed methane reservoirs // International Journal of Coal Geology. 2016. Vol. 154–155. P. 123–135.

14. Сластунов С.В., Ютяев Е.П., Мазаник Е.В., Садов А.П., Понизов А.П. Обеспечение метанобезопасности шахт на основе глубокой дегазации угольных пластов при их подготовке к интенсивной разработке// Уголь. — 2019. — № 7. С. 42—47.

15. Руководство по наилучшей практике эффективной дегазации источников метановыделения и утилизации метана на угольных шахтах. Серия публикаций ежк по энергетике, № 47. Второе издание, декабрь 2016. Издание Организации Объединенных Наций, 2016 год. — 132с.

16. Лама Р.Д. Безопасные пороговые значения газоносности против выбросов при разработке пластов Були. — Межд. Симпозиум по управлению и контролю высоких эмиссий газа и выбросов в подземных угольных шахтах. — Австралия, — С. 175—189, 1995.

17. Йен Грей и Джефф Вуд, Сигра Лтд. Внезапные выбросы в угольных шахтах. Последовательный подход для повышения эффективности эксплуатации. Outbursts in UG Coal Mines — A Coherent Approach for Improved Management 2013.

18. Нгуен Тхе Ха. Обоснование рациональных способов обеспечения воздухом выемочных участков угольных шахт Вьетнама при углублении горных работ: Дисс. канд. техн. наук: 25.00.20/ Нгуен Тхе Ха; НМСУ «Горный». — С.-Петербург, 2016, — 131 с.

19. Гендлер С.Г., Нгуен Тхе Ха. Обоснование рациональных способов обеспечения воздухом выемочных участков действующих угольных шахт вьетнама при углублении горных работ// Записки Горного института. 2018. Т. 234. — С. 652—657.

20. Сластунов С.В., Каркашадзе Г.Г., Коликов К.С., Ермак Г.П. Методика расчета допустимой нагрузки на очистной угольный забой по газовому фактору// ФТПРПИ. — 2013. — №6, С.53—59.

21. Ножкин Н.В. Заблаговременная дегазация угольных месторождений. — М.: Недра. 1979. — 271 с.

22. Пучков Л.А., Сластунов С.В., Коликов К.С. Извлечение метана из угольных пластов. — М.: Изд-во Московского государственного горного университета. — 2002. — 383 с.

23. Сластунов С.В., Коликов К.С., Кашапов К.С., Грознов Н.Н., Шмидт М.В. Опыт и перспективы заблаговременной дегазации в Карагандинском угольном бассейне// ГИАБ, Отд. выпуск №11 «Метан». — 2009. — С. 17—26.

24. Сластунов С.В., Мазаник Е.В., Садов А.П., Понизов А.В. Углубление пластовой дегазации на основе усовершенствованной технологии подземного гидроразрыва// ГИАБ. — 2016. — №9. — С.296—302. **ГИАБ**

## REFERENCES

1. Ruban A.D., Artem'ev V.B., Zaburdyayev V.S., Zaharov V.N., Loginov A.K., Yutyayev E.P. *Podgotovka i razrabotka vysokogazonosnyh ugol'nyh plastov* [Preparation and development of high-gas-bearing coal seams]. Moscow: Gornaya kniga. 2010. 500 p. [In Russ]

2. Balovtsev S. V. Assessment of ventilation circuits with regard to geological and geotechnical conditions of coal seam mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 6, pp. 173—183. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-06-0-173-183. [In Russ].

3. Baisheng Nie, Xianfeng Liu, Shaofei Yuan, Boqing Ge, Wenjie Jia et al. Sorption characteristics of methane among various rank coals: impact of moisture. *Adsorption*. 2016. Vol. 22. no. 3. pp. 315—325.

4. Zaburdyayev V.S. Methane Release in the treatment faces at high loads on the lava. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* Tematicheskoe prilozhenie «Metan». 2006. pp. 191—205. [In Russ]

5. Haijun Guo, Yuanping Cheng, Liang Wang, Shouqing Lu, Kan Jin. Experimental study on the effect of moisture on low-rank coal adsorption characteristics. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. 2015. Vol. 24. pp. 245—251.

6. Fam Dik Thang, Vitkalov V.G., Fam Ngok Hyun'. Strategy for the development of the coal industry and the possibility of using mechanized coal mining technology in the Kuangnin coal basin of Vietnam. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018. no. 8. pp. 65 – 70. [In Russ]

7. Novoselov S.V., Panihidnikov S.A. Main way to eliminate methane explosions in high-loaded treatment faces of coal mines dangerous for gas prevention of creating an explosive methane-air mixture. *Ugol'*. 2018. no. 4. pp. 31 – 35. [In Russ]

8. Hyn B.V. Methane hazard in Vietnam's mines and measures to prevent it. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015. no. 2. pp. 243 – 246. [In Russ]

9. Van Thinh Nguyen, Waldemar Mijal, Vu Chi Dang, and Thi Tuyet Mai Nguyen. Methane content estimation in DuongHuy coal mine. *E3S Web of Conferences* 35, 01005 (2018).

10. Ruban A.D., Ziburdaev V.S., Matvienko N.G., Artem'ev V.B. Fundamentals of designing degassing of coal mines and mines of Russia. Moscow: Gornoe delo : Kimmerijskij centr, 2011. 271 p. [In Russ]

11. Slastunov S.V., Kolikov K.S., Karkashadze G.G., Ermak G.P. Extraction and use of mine methane-the basis for rational development of coal deposits. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2014. no. 5. pp. 235 – 239. [In Russ]

12. Qi Lingling, Tang Xu, Wang Zhaofeng, Peng Xinshan. Pore characterization of different types of coal from coal and gas outburst disaster sites using low temperature nitrogen adsorption approach. *International Journal of Mining Science and Technology.* 2017. Vol. 27. P. Iss. 2. pp. 371 – 377.

13. Yili Kang, Fansheng Huang, Lijun You, Xiangchen Li, Bo Gao. Impact of fracturing fluid on multi-scale mass transport in coalbed methane reservoirs. *International Journal of Coal Geology.* 2016. Vol. 154 – 155. pp. 123 – 135.

14. Slastunov S.V., Yutyayev E.P., Mazanik E.V., Sadov A.P., Ponizov A.P. Ensuring methane safety of mines based on deep degassing of coal seams in their preparation for intensive development. *Ugol'*. 2019. no. 7. pp. 42 – 47. [In Russ]

15. *Rukovodstvo po nailuchshej praktike effektivno j degazacii istochnikov metanovydeleniya i utilizacii metana na ugot'nyh shahtah* [The best practice guidance for effective degassing sources of methane release and utilization of methane in coal mines]. Seriya publikacij eek po energetike, no. 47. Vtoroe izdanie, dekabr' 2016. Izdanie Organizacii Ob»edinennyh Nacij, 2016 god. 132 p. [In Russ]

16. Lama R.D. *Bezopasnye porogovye znacheniya gazonosnosti protiv vybrosov pri razrabotke plastov Buli* [Safe threshold values of gas content against emissions in the development of Buli formations]. Mezhd. Simpozium po upravleniyu i kontrolyu vysokih emissij gaza i vybrosov v podzemnyh ugot'nyh shahtah. Avstraliya, pp. 175 – 189, 1995. [In Russ]

17. Jen Grej i Dzheff Vud, Sigra Ltd. *Vnezapnye vybrosy v ugot'nyh shahtah. Posledovatel'nyj podhod dlya povysheniya effektivnosti ekspluatacii* [Sudden releases in coal mines. A consistent approach to improve operational efficiency]. Outbursts in UG Coal Mines A Coherent Approach for Improved Management 2013. [In Russ]

18. Nguen The Ha. *Obosnovanie racional'nyh sposobov obespecheniya vozduhom vyemochnyh uchastkov ugot'nyh shaht V'etnama pri uglublennii gornyh robot* [Justification of rational ways to provide air to the dredged areas of coal mines in Vietnam during mining operations]: Diss. kand. tekhn. nauk: 25.00.20. Nguen The Ha; NMSU «Gornyj». Saint-Petersburg, 2016, 131 p. [In Russ]

19. Gendler S.G., Nguen The Ha. Justification of rational ways to provide air to the dredging sites of existing coal mines in Vietnam when mining operations are deepened. *Zapiski Gornogo instituta.* 2018. T. 234. pp. 652 – 657. [In Russ]

20. Slastunov S.V., Karkashadze G.G., Kolikov K.S., Ermak G.P. Method of calculating the permissible load on the cleaning coal face by gas factor. *FTPRPI.* 2013. no. 6. pp. 53 – 59. [In Russ]

21. Nozhkin N.V. *Zablagovremennaya degazaciya ugol'nyh mestorozhdenij* [Early degassing of coal deposits]. Moscow: Nedra. 1979. 271 p. [In Russ]
22. Puchkov L.A., Slastunov S.V., Kolikov K.S. *Iz vlechenie metana iz ugol'nyh plastov* [Extraction of methane from coal seams]. Moscow: Izd-vo Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta. 2002. 383 p. [In Russ]
23. Slastunov S.V., Kolikov K.S., Kashapov K.S., Groznov N.N., Shmidt M.V. Experience and prospects of advance degassing in the Karaganda coal basin. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull. Otd. vypusk no. 11 «Metan»*. 2009. pp. 17 – 26. [In Russ]
24. Slastunov S.V., Mazanik E.V., Sadov A.P., Ponizov A.V. Deepening of reservoir degassing on the basis of improved technology of underground hydraulic fracturing. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2016. no. 9. pp. 296 – 302 [In Russ]

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Фам Дик Тханг*<sup>1</sup> – кандидат технических наук, старший преподаватель, e-mail: phamducthangmct@gmail.com;

*Фан Туан Ань*<sup>2</sup> – аспирант, e-mail: tuananhr1369@gmail.com;

*Коликов Константин Сергеевич*<sup>2</sup> – доктор технических наук, заведующий кафедрой БЭГП, e-mail: kolikovks@mail.ru;

<sup>1</sup> Куангнинский индустриальный университет;

<sup>2</sup> Национальный исследовательский технологический Университет «МИСиС», Ленинский пр., 4, Москва, 119049.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Fam Dik Thang*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), senior lecturer, e-mail: phamducthangmct@gmail.com;

*Fan Tuan An*<sup>2</sup>, PhD student, e-mail: tuananhr1369@gmail.com;

*Kolikov K.S.*<sup>2</sup>, Dr. Sci. (Eng.), head of the Department of BAGP, e-mail: kolikovks@mail.ru;

<sup>1</sup> Quang Ninh University of Industry, Quang Ninh, Viet Nam;

<sup>2</sup> National university of science and technology «MISIS», Moscow, Russia.

Получена редакцией 11.03.2020; получена после рецензии 14.04.2020; принята к печати 20.05.2020.

Received by the editors 11.03.2020; received after the review 14.04.2020; accepted for printing 20.05.2020.

