

УДК 622.86: 622.411.332 © А.Д. Маусымбаева, А.Б. Миндубаев,
С.Б. Иманбаева, М. Рабатулы, В.С. Портнов, 2024

Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова,
100027, г. Караганда, Республика Казахстан
✉ e-mail: mukhammedrakhym@mail.ru

UDC 622.86: 622.411.332 © A.D. Mausymbaeva, A.B. Mindubaev,
S.B. Imanbaeva, M. Rabatuly, V.S. Portnov, 2024

Abylkas Saginov Karaganda Technical University,
Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan
✉ e-mail: mukhammedrakhym@mail.ru

Силовая модель внезапного выброса угля и газа*

A force model of a sudden coal and gas outburst

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-11-44-50>

МАУСЫМБАЕВА А.Д.

PhD, ассистент, профессор кафедры
«Геология и разведка месторождений
полезных ископаемых»
Карагандинского
технического университета
имени Абылкаса Сагинова,
100027, г. Караганда,
Республика Казахстан,
e-mail: aliya_tausytm@mail.ru

МИНДУБАЕВ А.Б.

PhD, докторант кафедры
«Геология и разведка месторождений
полезных ископаемых»
Карагандинского
технического университета
имени Абылкаса Сагинова,
100027, г. Караганда,
Республика Казахстан,
e-mail: adil.mindubayev@mail.ru

ИМАНБАЕВА С.Б.

PhD, старший преподаватель
кафедры «Геология и разведка
месторождений
полезных ископаемых»
Карагандинского
технического университета
имени Абылкаса Сагинова,
100027, г. Караганда,
Республика Казахстан,
e-mail: svetakaz77@mail.ru

Для возникновения и развития газодинамических явлений, таких как внезапный выброс газа и угля, необходим запас потенциальной энергии угля и заключенного в нем метана, а скорость реализации энергии должна быть выше критических условий. Но этого недостаточно, так как последним и достаточным для развития эжекционного процесса является измельчение при разрушении угля, обеспечивающее выход газа в количествах и с достаточной скоростью для отброса его от фронта разрушения. Получено уравнение риска внезапного выброса, включающее соотношение потока энергии, поступающей в объем пласта за счет внутреннего процесса энерговыделения к объему потока энергии, выделяющегося из объема за счет теплопроводности и массопереноса. Как только это соотношение превышает некоторое критическое значение, происходит внезапный выброс. Предложенное уравнение подтверждается экспериментальными данными на угольных пластах Карагандинского бассейна. Определен критериальный риск внезапного выброса, который включает толщину угольного пласта, газопроницаемость и его газоносность.

Ключевые слова: метан, газоносность, геологическое строение, давление, газопроницаемость, энергия, массоперенос, теплопроводность.

Для цитирования: Силовая модель внезапного выброса угля и газа / А.Д. Маусымбаева, А.Б. Миндубаев, С.Б. Иманбаева и др. // Уголь. 2024;(11):44-50. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-11-44-50.

Abstract

For the occurrence and development of the gas dynamic phenomena, such as a sudden outburst of gas and coal, a reserve of potential energy of coal with methane enclosed in it is necessary, and the speed of the energy release should be higher than the critical conditions. But this is not enough, as the last and sufficient

* Исследования выполнены в рамках государственного гранта Министерства Науки и Высшего образования Республики Казахстан «Разработка методов прогноза внезапных выбросов угля и газа на основе изучения нанопокрывтия угля» № AP14972877. Авторы приносят благодарность сотрудникам «Лаборатории инженерного профиля» при КарТУ имени Абылкаса Сагинова за предоставленную возможность проведения лабораторных исследований и обработки результатов.

ingredient for the development of the ejection process is the pulverization of coal during its fracture, which ensures the release of gas in quantities and with the velocity sufficient to throw it away from the fracture front. An equation for the risk of sudden outburst was obtained, which includes the ratio of the energy flow entering the seam volume due to the internal process of energy release to the volume of the energy flow released from the volume due to heat conductivity and mass transfer. Once this ratio exceeds some critical value, a sudden outburst takes place. The proposed equation is confirmed by experimental data on coal seams of the Karaganda basin. The criteria risk of sudden outburst is determined, which includes the thickness of the coal seam, its gas permeability and gas content.

Keywords

Methane, gas content, geologic structure, pressure, gas permeability, energy, mass transfer, thermal conductivity.

Acknowledgements

The studies were carried out under the state grant of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan "Development of methods for prediction of sudden coal and gas blowouts based on studying coal nano-coating" No. AR14972877. The authors express their gratitude to the staff of the Engineering Profile Laboratory at the Abylka Saginov Karaganda Technical University for the opportunity to conduct laboratory studies and optimize the results.

For citation

Mausymbaeva A.D., Mindubaev A.B., Imanbaeva S.B., Rabatuly M., Portnov V.S. A force model of a sudden coal and gas outburst. *Ugol'*. 2024;(11):44-50. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-11-44-50.

РАБАТУЛЫ М.

Доктор, PhD, и.о. доцента кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Карагандинского технического университета имени Абылкаса Сагинова, 100027, г. Караганда, Республика Казахстан, e-mail: mukhammedrakhym@mail.ru

ПОРТНОВ В.С.

Доктор техн. наук, профессор кафедры «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» Карагандинского технического университета имени Абылкаса Сагинова, 100027, г. Караганда, Республика Казахстан, e-mail: vs_portnov@mail.ru

ВВЕДЕНИЕ

Внезапные выбросы газа и угля в разные годы произошли в угольных шахтах практически во всех странах, за последние 150 лет их произошло более 30000.

Одни из самых ранних концепций о природе газовых выбросов, связанной с давлением газа и свойствами угля была представлена в работе [1]. Более поздние исследователи [2, 3] разработали теорию выбросов, за которой последовали работы [4, 5], показавшие роль напряжения и механической энергии в теории выбросов. С начала 1950-х годов наиболее обширные работы в этой области ведутся российскими исследователями [6, 7], которые рассматривали механизмы сорбции/десорбции газа и напряжения в генерации вспышек. А.А. Скочинский (1954 г.) обобщил эти концепции на основе опыта группы, примерно, 300 исследователей.

Внезапные выбросы угля и газа – это динамические формы газопроявлений. Эти явления иногда перерастают в крупные катастрофы [7, 8].

К изучению этой проблемы привлекают комплекс геологических, геофизических и геохимических данных, методы моделирования, которые позволяют выявить опасные геологические структуры, способы и пути «подпитки» глубоких горизонтов шахт метаном, изучить состав газов и их роль в генезисе и механизме процессов возникновения техногенных катастроф [9, 10]. Остается неизученной кинетика процессов образования, выделения и высвобождения метана из угольного пласта. Следует отметить, что изучение процессов физико-химической кинетики только начинается, разрабатывается методическое и приборное обеспечение измерения этих процессов, исследуются геомеханические процессы, приводящие к механохимическому образованию при выбросах метана [11]. Остается неясным, почему идентичные геомеханические ситуации не всегда заканчиваются газодинамическими явлениями, а также, почему некоторые тектонические нарушения связаны с ними, а подавляющее их большинство – нет.

В данной работе разработана энергетическая модель внезапного выброса угля и газа, которая может быть положена в основу анализа механизмов внезапного выброса в естественных условиях нахождения угольного вещества и метана в угольных пластах.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА МЕХАНИЗМ ВЫБРОСА

Наиболее важными и необходимыми условиями для возникновения взрыва, которые варьируются от шахты к шахте, являются:

- концентрация и форма нахождения газа в угольном пласте;
- геологическое строение угольного пласта, включая тектонику;
- режим действующего давления на угольный пласт;
- петрофизические свойства угля и его проницаемость.

Геологическое строение и структура угольного пласта определяют местоположение газодинамического явления, а напряжение, испытываемое пластом, играет роль инициатора выброса. Содержание газа определяет количество энергии, доступной для взрыва и переноса разрушенного материала.

Большинство исследователей считают, что метан угольных месторождений образовался в ходе разложения растительного вещества и не изменялся в течение миллионов лет. В абиогенной модели авторы [12] продемонстрировали возможность образования метана и легких углеводородов с составом, близким к природному газу, и содержанием метана более 90% путем гидрирования CO_2 в присутствии железного катализатора Fe_2O_3 .

Шахтный метан может быть представлен несколькими источниками генерации:

- метаморфического происхождения, образующийся в угольных пластах и окружающих породах «in situ» на различных стадиях развития угольного месторождения;
- глубинного происхождения, мигрирующий по сети тектонических разломов, поступающий из глубоководных угольных пластов и также из нефтяных или газовых месторождений, залегающих под угольными отложениями; мантийный метан, проникающий в осадочную толщу, угольные пласты непосредственно из мантии по разломам кристаллического фундамента.

Метан сам по себе не обязательно инициирует вспышку, хотя некоторые исследования показывают, что его присутствие снижает прочность углеродного массива и вызывает развитие высоких напряжений [13]. При этом возникают силы в пласте, которые могут инициировать вспышку.

Геологический фактор связан со строением угольных пластов и возникновением в них зон с повышенной газоотдачей, в которых наиболее часто происходят горнодинамические явления (ГДЯ) [14, 15].

Угольные месторождения с аномально высокими концентрациями метана располагаются не в классических структурных ловушках, а во флюидных активных зонах, в зонах тектонических нарушений. Прогнозирование и выявление метанообильных участков – одна из наиболее сложных и важных задач при решении проблемы метана угольных пластов.

Установлено, что в угольных пластах и углевмещающих породах вдоль вертикальной газовой зональности существует скрытая, латеральная зональность, которая определяется характеристиками тектонических разломов различного порядка.

Несмотря на большое разнообразие геодинамических ситуаций, обуславливающих формирование зон флюиди-

зации в угольных пластах, можно отметить некоторые общие морфологические и структурные особенности. Они проявляются в типичном трехступенчатом строении:

- ненарушенный («спокойный») уголь вдали от зоны флюидизации, переходящий в довольно обширную зону (десятки метров);
- переходная область тектонических нарушений и метасоматического изменения угля – относительно узкая (10-15 м), «зона резервации»;
- эмиссионный центр сложной конфигурации, сложенный цементированным и перекристаллизованным углем, связанный со структурной «ловушкой», сложенной высокопористым и газонасыщенным углем [16].

В работе [17] разработана теория волны дробления в процессе взрыва как сложная функция естественных тектонических и индуцированных напряжений, которые вызывают инициацию взрыва, а свободный газ, присутствующий в поровом пространстве, переносит разрушенные материалы. Волна дробления движется от забоя вглубь массива, разрушая последовательные слои угля в направлении, противоположном направлению движения разрушенной массы. Эти возмущения являются волнами деструкции и получают энергию от сжатого газа в поровом пространстве. Дифференциальное давление газа на фронте волны дробления равно или превышает предел прочности угля на растяжение, что приводит к раскалыванию угля на небольшие слои (диски). Эта теория поддерживается рядом исследователей [17, 18].

Ряд авторов связывает выбросы и горные удары как единое явление с той разницей, что газ может отсутствовать, или газ является вторичным фактором для горных ударов [17, 18].

Важным фактором являются физические свойства угля. В кинетике установления и нарушения равновесия в системе уголь – газ важную роль играют своеобразие пористой структуры и пустоты в угле. Эти характеристики влияют не только на кинетику диффузии газов в пористой структуре угля, но и на распределение между адсорбированным метаном и свободной фазой. Важную роль играют пустоты в угольном веществе. При определенных параметрах пустот количественные различия становятся качественными, они определяют механизм взаимодействия между углеродным материалом и переносом газа через уголь [19, 20].

Наиболее важными параметрами, характеризующими угольный пласт, склонный к взрывам, являются: высокое содержание газа, низкая проницаемость угольного пласта и высокая скорость выделения газа при дроблении угля. Пласты со следующими характеристиками могут быть классифицированы как склонные к взрывам [21]:

- содержание газа (метана) $> 8 \text{ м}^3/\text{т}^3$;
- проницаемость $< 2 \text{ мД}$;
- механическая прочность $<$ наименьшего главного напряжения.

МОДЕЛЬ ВНЕЗАПНОГО ВЫБРОСА

Зоны с повышенным выходом газа представляют собой сильнодефектную структуру угля с порами, трещинами, флюидами и т.д. Кластеризация (объединение) дефектов структуры в более крупные блоки способствует увели-

чению сорбционной емкости этой зоны. Ее дефектность в основном зависит от его термодинамического состояния [21, 22]:

$$N_0 \approx \text{const} \times (G^0)^{1/2}. \quad (1)$$

Энергия Гиббса $G^0 = U - TS + PV$, где U – внутренняя энергия зоны, T – температура, S – энтропия, P – давление, V – объем.

Из выражения (1) следует, что определяющими параметрами являются энергия зоны и внешняя энергия (давление горных пород). Внутренняя энергия определяется как энергией межмолекулярного взаимодействия угольного вещества, так и энергией упругодеформированного состояния.

Основу энергетической теории внезапного выброса составляют достаточный запас потенциальной энергии угля и метана внутри него и скорость реализации энергии выше критических условий, которые необходимы, но недостаточны для начала и развития такого газодинамического явления, как внезапный выброс угля и газа. Последним и достаточным условием для развития выброса является измельчение угля в этом процессе, обеспечивающее выход газа в достаточном количестве и со скоростью, необходимой для раздробленного угля из фронта разрушения [21, 22].

Рассмотрим метан в угольном пласте с бесконечными параллельными стенками, в котором происходит выделение энергии. В этом случае распределение энергии внутри угольного пласта происходит за счет релаксации напряжений, а абляция энергии на стенку пласта – за счет теплопроводности и массопереноса. Наша задача – найти условия, при которых выделение энергии становится настолько интенсивным, что стационарное решение уравнения энергетического баланса отсутствует. Наиболее удобный подход в этом случае – найти это стационарное решение и определить условия, при которых оно перестает существовать.

Представим уравнение энергетического баланса в угольном пласте в следующем виде:

$$\chi \frac{d^2 T}{dx^2} + f(T) = 0, \quad (2)$$

где χ – коэффициент передачи энергии (в частном случае – коэффициент теплопроводности) угольного пласта, x – направление, перпендикулярное пласту (начало координат середины пласта), T – полная энергия угля и метана, под ней подразумевается температура пласта, которая пропорциональна кинетической энергии молекул метана.

Величина $f(T) = N^* N K \hbar \omega$ представляет собой тепловыделение в единицу объема и в единицу времени (N^* – плотность колебательно возбужденных молекул метана, N – плотность молекул, приводящих к колебательной релаксации в случае столкновения, $\hbar \omega$ – колебательная квантовая энергия).

Поскольку колебательная температура, по сравнению с поступательной, высока, мы не рассматриваем обратный процесс, приводящий к возбуждению молекул. Существенно, что константа скорости колебательной релаксации $K(T)$ зависит от температуры. Установим величину $\beta = d \ln k(T) / dT$ так, чтобы в узком диапазоне темпе-

ратур выделение энергии в единицу объема определялось выражением:

$$f(T) = f(T_0) \exp[-\beta(T_0 - T)], \quad (3)$$

где T_0 – температура в центре пласта.

Решим уравнение энергетического баланса (2), задав новую переменную $y = \beta(T_0 - T)$, затем преобразуем это уравнение к следующему виду:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} - A e^{-y} = 0, \quad (4)$$

где $A = bf(T_0)/c$ и $y(0) = 0$.

Учитывая все это, отметим, что распределение температуры (энергии) в пласте четко по x , значит, $T(x) = T(-x)$,

а также $y(x) = y(-x)$ и $\left. \frac{dx}{dy} \right|_{x=0}$.

Учитывая эти факторы, рассмотрим уравнение (4) только при $x > 0$.

Решение уравнения (4) с граничными условиями

$$y(0) = \left. \frac{dx}{dy} \right|_{x=0} \quad \text{имеет вид:}$$

$$y = 2 \ln chx \sqrt{A/2}. \quad (5)$$

Найдем порог распада угле-метана, при котором происходит соприкосновение двух кривых, описываемых левой и правой частями уравнения (5). Причем в точке контакта обе величины и их производные равны. Отсюда следует:

$$\Delta T = \frac{2}{\beta} \ln chZ, \quad ZthZ = 1, \quad (6)$$

где $Z = l \sqrt{\beta f(T_0) / 2\chi}$.

Решение второго уравнения в (6) дает $Z = 1,2$, откуда для порога распада угле-метана получим:

$$l^2 \beta f(T_0) / \chi = 2,88. \quad (7)$$

Из полученных соотношений для перепада температур имеем:

$$\Delta T = \frac{1,19}{\beta}. \quad (8)$$

Запишем условие теплового взрыва по параметрам теплового выделения вблизи стенок. Вблизи порога теплового взрыва:

$$f(T_{ct}) = f(T_0) \exp(-\beta \Delta T) = 0,30 f(T_0). \quad (9)$$

Исходя из этого, получим условие теплового взрыва:

$$l^2 \beta f(T_{ct}) / \chi = 0,44. \quad (10)$$

С учетом определения параметра β условие (10) может быть представлено в следующем виде:

$$\left. \frac{l^2}{x} \frac{df(T = T_{ct})}{dT} \right|_{x=0}. \quad (11)$$

Уравнение (11) включает в себя отношение потока тепла, поступающего в объем пласта за счет внутреннего процесса тепловыделения, к потоку тепла, который выделяется из объема за счет теплопроводности и массопереноса.

Как только это отношение превышает некоторую критическую величину, порядка единицы, наступает момент теплового взрыва, приводящего к распаду угле-метана (рис. 1).

Предложенная модель использована как основа анализа механизма внезапного выброса метана и угля в условиях нахождения угольного вещества в угольном пласте.

ОБСУЖДЕНИЕ

Из анализа технологических и технических аспектов работы шахт Карагандинского бассейна установлено, что основным фактором, определяющим темпы горноподготовительных и очистных работ, являются растущая глубина разработки и, как следствие, высокая газоносность пластов.

Для безопасной эксплуатации шахт требуется применение специальных мер, направленных на прогноз зон, опасных по внезапным выбросам угля и газа. В настоящее время используются методы горно-геологического прогноза, которые не позволяют с достаточной достоверностью и точностью прогнозировать зоны геологических нарушений, аномальные зоны повышенных напряжений, оконтуривать участки лав с высокой газоносностью и степенью дробления угля.

С углублением горных работ повышается газодинамическая активность угольных пластов. Высокая взрывоопасность и сложность разработки обусловлены большой мощностью и пологим погружением пластов, значительными тектоническими нарушениями, высоким содержанием метана и, как следствие, их газодинамической активностью, естественным повышением давления газа в угольных пластах и снижением влажности угля, что, при прочих равных условиях, приводит к увеличению интенсивности проявления газодинамических явлений. Сложность усугубляется также отсутствием защитных слоев в большинстве пластов, опасных к проявлениям ГДЯ при первичной отработке нисходящего пласта в бассейне.

Из уравнения (11) следует, что вероятность проявления ГДЯ увеличивается с ростом толщины угольного пласта (рис. 2, а). Угольные пласты марок К10, К12 и Д6 имеют толщину более 3 м, остальные пласты имеют толщину менее 1 м.

Параметр χ в уравнении (11) перпендикулярен плоскости угольного пласта. Поэтому он максимален для горизонтальных горных выработок шахт (см. рис. 2, б).

Параметр χ в уравнении (11) можно рассматривать как газопроницаемость угольного пласта. С уменьшением χ вероятность выброса увеличивается. Этот вывод проиллюстрирован на рис. 3, а, где приведено распределение выбросов по участкам бассейнов Карагандинский, Шерубай-Нурунский и Тентекский, имеющим газопроницаемость соответственно: 1,47 мД, 12,3 мД, 2,42 мД.

Изменение количества выбросов с глубиной залегания угольных пластов показано на рис. 3, б. Небольшое количество выбросов на глубинах более 500 м объясняется не общей закономерностью, а неполнотой статистических данных, так как добыча угля на этих глубинах начинает расти.

Поток энергии (11), вводимый в объем пласта за счет внутреннего процесса, пропорционален содержанию метана в угольном пласте, которое обусловлено многими факторами, в том числе составом и степенью метаморфизма угля, тектоникой и гидрогеологическими условиями. Рост содержания метана в первых 100-150 м от зоны выветривания происходит очень быстро, затем замедляется и на глубинах более 600 м практически прекращается.

По прогнозным оценкам, на глубинах более 1000 м в центре Карагандинской синклинали средняя газоносность угольных пластов – 25 м³/т. Количество метана в угольных пластах бассейна – 90-95%, а во вмещающих поро-

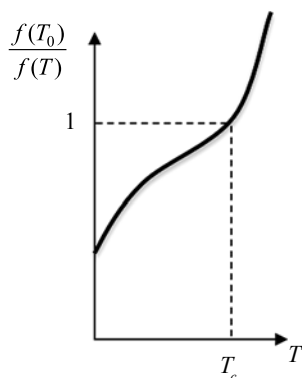


Рис. 1. Иллюстрация момента внезапного теплового взрыва

Fig. 1. Illustration of the moment when a sudden thermal explosion takes place

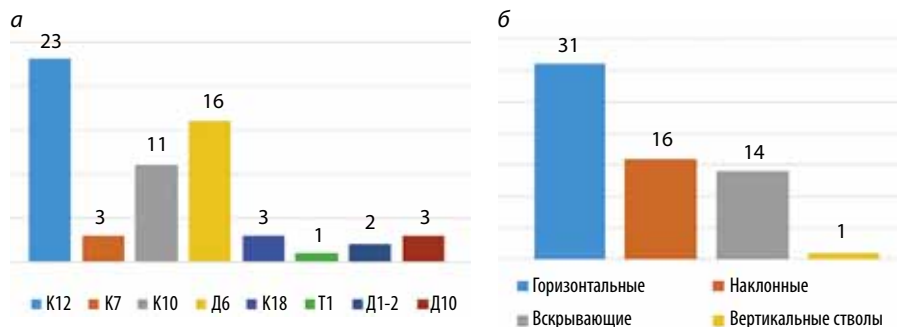


Рис. 2. Распределение внезапных выбросов: а – по типам угольных пластов; б – по типам вскрытий горными выработками

Fig. 2. Distribution of sudden outbursts: а – by types of coal seams; б – by types of mine openings

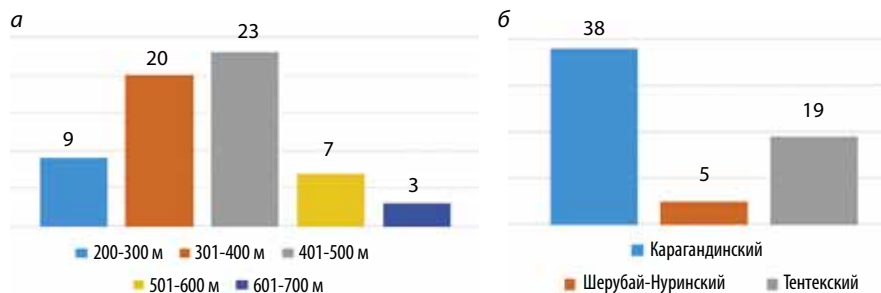


Рис. 3. Распределение выбросов угля и газа: а – по участкам Карагандинского угольного бассейна; б – в зависимости от глубины залегания

Fig. 3. Distribution of coal and gas outbursts: а – by sections of the Karaganda coal basin; б – depending on the occurrence depth

Содержание метана в угольных пластах Карагандинского бассейна

Methane content in coal seams of the Karaganda Basin

Марка угля	Глубина верхней границы метановых газов, м	Содержание метана в угольных пластах (м ³ /т) на глубинах от поверхности, м				
		до 300	301-600	601-900	901-1200 (прогноз)	1201-1500 (прогноз)
Г	200-400	2-12	10-17	15-25	20-28	26-30
Д	180-250	3-18	18-28	30-32	23-35	25-36
К	50-200	4-20	20-32	25-35	28-38	30-40
ОС	110-200	5-20	18-25	24-28	27-30	28-35

дах – 5-10%. В бедных органикой угольных пластах газ может находиться в свободном состоянии в порах или трещинах, а также в виде кристаллогидрата. Среднее содержание метана в угольных пластах Карагандинского бассейна приведено в таблице. Прогнозные оценки получены из работ М.А. Еремкова, А.К. Акимбекова.

Обобщение приведенных выше данных на основе уравнения (11) позволяет определить критерии внезапного выброса:

$$R_1 = 10^{-15} \frac{l^2}{x} C_0 \geq 1. \quad (12)$$

Из уравнения (12) для угольных пластов Карагандинского бассейна (при средних $\chi \sim 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^{15}$, $C_0 \sim 15 \text{ м}^3/\text{т}$) риск выброса зависит в основном от толщины угольного пласта, а при $l < 1 \text{ м}$ риск минимален, где – C_0 содержание метана в угольном пласте.

Определение C_0 угольных пластов представляет значительные трудности, особенно с учетом их естественного залегания. В работах [22, 23] предложено использование геофизических методов определения на основе измерений удельного электрического сопротивления, поглощения первичного гамма-излучения от источника, скорости упругих волн.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Доминирующую роль в возникновении выбросов угля и газа играют следующие факторы:

- геологические факторы: разломы, зоны контакта угля с вмещающими породами, резкие изменения гипсометрии угольного пласта;
- статические и динамические нагрузки вблизи других выработок;
- низкая прочность угольного пласта по отношению к уровню создаваемого напряжения;
- скорость десорбции газа;
- непосредственное механическое воздействие на угольный забой;
- физико-механические характеристики углепородного массива;
- коэффициент пористости, начальная скорость газоотдачи, давление, содержание газа и влажность угля.

Возникновение и развитие газодинамических явлений в виде внезапного выброса газа и угля определяются достаточным запасом потенциальной энергии угля и заключенного в нем метана, скоростью реализации энергии выше критических условий, что является необходимыми условиями, но недостаточными, а дополнительным и доста-

точным для развития эжекционного состояния является измельчение в процессе разрушения угля, обеспечивающее выход газа в количестве и с достаточной скоростью для отброса его из образованной полости угольного забоя.

Получено уравнение риска внезапного выброса газа и угля, которое включает в себя отношение потока энергии, введенной в объем пласта

за счет внутреннего процесса, к потоку энергии, который уносится из объема за счет теплопроводности и массопереноса. Как только это соотношение достигает критического значения (порядка единицы), происходит внезапный выброс. Уравнение подтверждается экспериментальными данными, полученными на угольных пластах Карагандинского угольного бассейна.

Выбросы происходят в подготовительных выработках при вскрытии в основном мощных пластов, в большинстве случаев в горизонтальных выработках в зонах тектонических нарушений, (взбросы), а также в зонах мелких нарушений, изменений мощности пласта, в зонах интенсивной перемятой пачки пласта, (например, нижний слой пласта Д₆), в зонах повышенных напряжений – влияние целиков, оставленных на соседних пластах.

Основным параметром для оценки риска выброса является содержание метана в угольных пластах, экспериментальное его определение представляет значительные трудности, особенно в условиях их естественного залегания, а информация, полученная методами геофизики, является перспективой получения достоверных данных о содержании метана.

Список литературы • References

1. Halbaum H.W. Discussion of J. Gerrard's paper "Instantaneous outbursts...". *Trans. Inst. Min. Engrs.* 1990;(XVIII):258-65. Available at: https://www.researchgate.net/publication/30389039_Overview_of_Gas_Outbursts_and_Unusual_Emissions (accessed 15.10.2024).
2. Telfer, W.H. Discussions of Rowan's paper on "An outburst of coal and firedamp at Valley Field Colliery, Newmills, Fife". *Trans. Inst. Min. Engrs.* 1912;(XLII):274-287.
3. Caufield B. Discussion of the paper by G.S. Rice on "Introductory notes on origin of instantaneous outbursts of gas in certain coal mines of Europe and Western Canada. *Trans. Am. Inst. Min. Met. Engrs.* 1931;(94):102-136.
4. Jarlier M. The mechanism of outbursts. *Revue de l'Industrie Minerale.* 1936;(361):601-613.
5. Ходот В.В. Внезапные выбросы угля и газа. М.: НТИ, 1961. 163 с.
6. О влиянии форм связи метана с угольной матрицы на газодинамические явления, возникающие при подземной разработке угольных пластов / В.Г. Смирнов, В.В. Дырдин, З.Р. Исмагилов и др. // Пожарная и промышленная безопасность. 2017. № 1. Smirnov V.G., Dyrdin V.V., Ismagilov Z.R., Kim T.L., Manakov A.Yu. On the influence of the forms of the connection of methane with the coal matrix on the gas dynamic phenomena arising in the underground development of coal seams. *Pozharnaya i promyshlennaya bezopasnost'*. 2017;(1). (In Russ.).

7. Колесниченко И.Е., Артемьев В.Б., Колесниченко Е.А. Эволюция методов изучения метанобезопасности при разработке угольных пластов // Уголь. 2019. № 7. С. 36-41. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-7-36-41.
Kolesnichenko I.E., Artemiev V.B., Kolesnichenko E.A. The evolution of methane safety study methods in the development of coal seams. *Ugol'*. 2019;(7):36-41. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2019-7-36-41.
8. Кузнецов В.В. Горный удар – причина выброса метана в угольной шахте // Вестник КРАУНЦ. 2015. № 1.
Kuznetsov V.V. Mining blow – the cause of methane emission in a coal mine. *Vestnik KRAUNC*. 2015;(1). (In Russ.).
9. Kenetayeva, A.A., Usupayev S.E., Kryazheva T.V., Rabatuly M. Demethanization of coal seams in the Karaganda basin. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 677(4), <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/4/042118>.
10. Junsheng Du, Jie Chen, Yuanyuan Pu, Deyi Jiang, Linlin Chen, Yunrui Zhang. Risk assessment of dynamic disasters in deep coal mines based on multi-source, multi-parameter indexes, and engineering application. *Process Safety and Environmental Protection*. 2021;(155):575-586. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.09.034>.
11. Charlie C. Li, Peter Mikula, Brad Simser, Bruce Hebblewhite, William Joughin, Xiaowei Feng, Nuwen Xu. Discussions on rockburst and dynamic ground support in deep mines. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2019;11(5):1110-1118. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2019.06.001>.
12. Medina J.C., Butala S.J., Bartholomew C.H., Lee M.L. Iron-catalyzed CO₂ hydrogenation as a mechanism for coalbed gas formation. *Fuel*. 2000;(79):89-93.
13. Portnov V., Imanbayeva S., Atygayev R., Filimonov E., Mausymbayeva A. Assessment of sudden soil faults hazard when developing a coal seam. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2022;1(187):28-33. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-1/02>.
14. Проблемы отработки газоносных и опасных по внезапным выбросам угольных пластов с низкой проницаемостью в Карагандинском угольном бассейне / С.К. Баймухаметов, А.Ж. Имашев, Ф.А. Муллағалиев и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень научно-технический журнал). 2021. № (10-1). С. 124-136.
Baumukhametov S.K., Imashev A.Zh., Mullagaliev F.A., Mullagalieva L.F., Kolikov K.S. Low-permeable gas-bearing and outburst-hazardous coal seam mining in the Karaganda Coal Basin. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten'*. 2021;(10-1):124-136. (In Russ.).
15. Колесниченко И.Е., Колесниченко Е.А., Любомищенко Е.И. Механизм внезапных выбросов метана в угольных пластах // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2020. № 1. С. 108–120. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-1-0108-120>.
Kolesnichenko I.E., Kolesnichenko E.A., Lyubomishchenko E.I. Mechanism of methane outbursting in coal seams. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten'*. 2020;(1):108-120. (In Russ.). <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-1-0108-120>.
16. Gazaliyev A.M., Portnov V.S., Kamarov R.K., Maussymbayeva A.D., Yurov V.M. Geophysical research of areas with increased gas content of coal seams. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2015;(6): 24-29.
17. Gawor M., Rysz J., Smolarski A.Z. Экспериментальные исследования дезинтеграции угольного брикета под действием повторной волны. В книге: Пласты как многофазная среда: Горные породы и газовые выбросы. Краков, 1991. С. 919-932.
18. Ujihira M., Nakajima I. Experimental investigation of the phenomenon of internal fracture and bursts of porous material under the influence of pore gas pressure. *J. Min. & Material Processing Inst. of Japan*. 1991;107(1):31-36.
19. Mausymbayeva A.D., Yurov V.M., Rabatuly M., Rakhimova G.M. Assessment Of The Influence Of The Surface Layer Of Coals On Gas-Dynamic Phenomena In The Coal Seam. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2024;(2). <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-2/005>.
20. Demin V., Khalikova E., Rabatuly M. Research into mine working fastening technology in the zones of increased rock pressure behind the longwall face to ensure safe mining operations. *Mining of Mineral Deposits*. 2024;18(1). <https://doi.org/10.33271/mining18.01.027>.
21. Результаты освоения опытно-промышленных скважин на Шерубайнуринском участке Карагандинского угольного бассейна / Н.А. Дрижд, М. Рабатылы, А.Ю. Александров и др. // Уголь. 2020. № 6. С. 36-40. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-6-36-40.
Drizhd N.A., Rabatuly M., Aleksandrov A.Yu., Balniyazova G., Zhunis G. The results of the development of pilot wells in the Sherubainurinsky site of the Karaganda coal basin. *Ugol'*. 2020;(6):36-40. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2020-6-36-40.
22. Ivadilina D., Issabek T., Takhanov D., Yeskenova G. Predicting underground mining impact on the earth's surface. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2023;(1):32-37. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-1/032>.
23. Прогноз природной метаноносности при разработке угольных пластов / В.С. Портнов, С.Б. Иманбаева, Л.Ф. Муллағалиева и др. // Уголь. 2020. № 11. С. 53-57. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-11-53-57.
Portnov V.S., Imanbaeva S.B., Mullagalieva L.F., Balniyazova G.M., Shayakhmetov R.T. Forecast of natural methane content during coal seam mining. *Ugol'*. 2020;(11):53-57. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2020-11-53-57.

Authors Information

Mausymbayeva A.D. – PhD, assistant, Professor of Department of Geology and Exploration of Mineral Deposits, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: aliya_maussym@mail.ru

Mindubaev A.B. – PhD Doctoral Student of Department of Geology and Exploration of Mineral Deposits, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: adil.mindubayev@mail.ru

Imanbaeva S.B. – PhD, Senior lecturer of Department of Geology and Exploration of Mineral Deposits, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: svetakaz77@mail.ru

Rabatuly M. – Doctor, PhD, Associate Professor of Department of Geology and Exploration of Mineral Deposits, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: mukammedrakhym@mail.ru

Portnov V.S. – Doctor of Engineering Sciences, Professor of Department of Geology and Exploration of Mineral Deposits, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: vs_portnov@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 18.6.2024

Поступила после рецензирования: 17.10.2024

Принята к публикации: 28.10.2024

Paper info

Received June 18, 2024

Reviewed October 17, 2024

Accepted October 28, 2024