

Квантовые основы метаноопасности угольных пластов

И.Е. Колесниченко, Е.А. Колесниченко✉, Е.И. Любомищенко, Е.И. Колесниченко

Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М.И. Платова, г. Шахты,
Российская Федерация

✉kolesnichenko-2718@rambler.ru

Резюме: Статья посвящена проблеме предотвращения внезапных выбросов метана и угля. Приведены данные о внезапных выбросах в 2017–2020 гг. Показано, что эффективных способов предотвращения нет, так как нет методов прогноза выбросоопасных участков в угольных пластах. Приведены цель и методы исследования. Проблему необходимо решить в результате идентификации в пластах выбросоопасных участков с учётом объективных закономерностей отложения торфяника и разработки на основе квантовой теории циклических энергетических процессов образования и увеличения скоростного напора метана. Показаны пять объективных факторов, обоснованных документальными и приборными данными в результате анализа 267 внезапных выбросов в пределах одного месторождения. Основными признаками являются межпластовые слои при слиянии пластов и одинаковые изогипсы в пределах соседних шахтопластов. Отмечено, что известные гипотезы рассматривают физико-химические процессы в угольном пласте без учёта источников энергии. Авторами изложена квантовая теория источников энергии в угольном пласте. Обоснованы объективные условия применения этой теории. Впервые доказано, что электромагнитные излучения электронами атомов молекулярной структуры угольного вещества являются источником образования метана и процессов метаморфизма. Доказано, что отделение атомов происходит электромагнитным излучением и силовыми способами. Силовой способ проявляется при сжатии атомов и является основным во время погружения пласта в местах геологических нарушений и в зоне влияния горных выработок. Рекомендуется с применением квантовой теории исследовать способы предотвращения вынужденных процессов повышения температуры и скоростного напора метана в опасных слоях угольных пластов.

Ключевые слова: метаноопасность, квантовые основы, внезапные выбросы, метан, электрон, электро-магнитные излучения, энергия, скоростной напор, метаноносность, фотоны, силовой способ, цепная реакция излучений

Для цитирования: Колесниченко И.Е., Колесниченко Е.А., Любомищенко Е.И., Колесниченко Е.И. Квантовые основы метаноопасности угольных пластов. *Горная промышленность*. 2021;(1):91–97. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-1-91-97.

Quantum Fundamentals of Coal Bed Methane Hazards

I.E. Kolesnichenko, E.A. Kolesnichenko✉, E.I. Lyubomishchenko, E.I. Kolesnichenko

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Shakhty, Russian Federation

✉kolesnichenko-2718@rambler.ru

Abstract: The paper focuses on the challenges concerned with prevention of methane and coal outbursts. It provides data on outbursts in 2017–2020. It is shown that there are no effective ways to prevent such phenomena, as no methods are available for predicting the outburst-prone areas in the coal seams. The research objectives and methods are presented. The problem needs to be solved through identification of the outburst-prone areas in the coal seams with the account for objective patterns in peat deposition and development of cyclic energy processes of formation and increase in the methane dynamic pressure based on the quantum theory. Five objective criteria are shown that are justified with documented and instrumental data based on analysis of 267 outbursts within the same field. The main features are the interbed layers at the seam junctions and similar contour lines within the neighboring mines. It is noted that the known hypotheses consider physical and chemical processes inside the coal seam without taking into account the energy sources. The authors describe the quantum theory of energy sources inside the coal seam. The objective application conditions of this theory are justified. For the first time ever it was proved that electromagnetic irradiation of atoms in the molecular structure of the coal matter with electrons is the reason for methane formation and the metamorphic processes. It has been demonstrated that separation of atoms is triggered by electromagnetic radiation and by force. The force mechanism is manifested through the compression of atoms, and it is the main process accompanying the seam subsidence in areas of geological faults and in the impact zone of mining excavations. It is recommended to investigate the ways to prevent the forced processes of increasing the temperature and methane dynamic pressure in hazardous coal seam layers using the quantum theory.

Keywords: methane hazard, quantum fundamentals, outbursts, methane, electron, electromagnetic emissions, energy, dynamic pressure, methane content, photons, power method, radiation chain reaction

For citation: Kolesnichenko I.E., Kolesnichenko E.A., Lyubomishchenko E.I., Kolesnichenko E.I. Quantum Fundamentals of Coal Bed Methane Hazards. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2021;(1):91–97. (In Russ.) DOI: 10.30686/1609-9192-2021-1-91-97.

Введение

Актуальность. Угольный пласт – это современная форма геологического тела, в которое превратился обширный торфяник, сформировавшийся на земной поверхности. Природные геолого-генетические закономерности торфонакопления и трансформации в период геологических процессов и явлений предопределили, во-первых, образование различной вещественно-молекулярной структуры угольного вещества и, во-вторых, слоевую неравномерность скоплений метана по площади распространения угольных пластов. Технология разработки угольных пластов постоянно совершенствуется. Однако выделяющийся газ метан продолжает быть причиной техногенных аварий и катастроф с человеческими жертвами и разрушением техники и горных выработок.

В России внезапные выбросы метана и угля произошли в Кузбассе в шахтах «Анжерская-Южная» (24.07.2017), имени С.Д. Тихова (08.02.2019), «Чертинская-Коксовая» (14.09.2020). В Воркутском месторождении выбросы произошли 06.03.2020 в шахте «Воркутинская» и 25.02.2016 в шахте «Северная». При этом выброс стал причиной 4 взрывов метановоздушной смеси и пожара в горных выработках. В шахте им. В.Д. Ялевского 14.03.2016 произошло возгорание метана вдоль лавного конвейера.

В Китае внезапные выбросы с последующими взрывами метана произошли 07.03.2016, 16.12.2019, 20.08.2020, 27.09.2020, 19.10.2020, 04.11.2020 и 04.12.2020. В Колумбии серия внезапных выбросов и взрывов метана произошла 05.04.2020 на шахте в Кукунуба, 31.07.2020 на шахте в окрестностях Кукуты и 10.11.2020 в городе Топага.

С 1834 г. внезапные выбросы метана при подземной разработке угольных месторождений происходили во всех угледобывающих странах. Предположения об источниках энергии внезапного выброса метана из массива угольного пласта были впервые опубликованы в России в 1917 г. Н.Н. Черницыным. Результаты последующих исследований послужили основой применяемых на шахтах России инструкций по безопасному ведению горных работ¹. Внезапные выбросы со взрывом метана на шахтах показывают, что эпитет «внезапный», т.е. «непредсказуемый», а ещё точнее – «не изученный» – ещё долго может оставаться таким при обеспечении метанобезопасности на шахтах.

Проблема метанобезопасности требует совершенствования как научных знаний, так и практических методов. Научные результаты должны описать природные процессы в пласте, источники энергии и возможность на практике применять искусственные способы их предотвращения.

Цель нашей работы заключалась на основании анализа установленных количественных реальных эмпирических данных, характеризующих особенности условий и результаты внезапных выбросов, сформулировать гипотезу природных причинно-следственных процессов в пласте, получить необходимую достоверную информацию для идентификации опасных участков и разработки практических способов предотвращения неуправляемости газодинамического явления.

Методы исследования включали анализ объективной количественной информации о параметрах и свойствах угольных пластов и местах внезапных выбросов, а также субъективной информации в теоретических представле-

ниях об угольных пластах и причинах внезапных выбросов. К объективной относится информация, не зависящая от человеческого восприятия и представленная результатами различных измерений свойств и процессов объекта.

Субъективная информация отражает сформированное сознанием человека смысловое содержание объективной информации об объектах и процессах материального мира.

Обсуждение результатов исследования

Метановая опасность проявляется во внезапности истечения больших объёмов газа и разрушенного угля в горную выработку. Объёмы угля и метана можно приблизительно измерить в тоннах и кубометрах. Первое субъективное энергетическое представление о причинах внезапного выброса предложил В.В. Ходот в 1952 г. [1]. Основными причинами были названы горное давление вышележащих слоёв породы на пласт, давление газа и физико-механические свойства угля в пласте. Так как впереди линии забоя концентрация горного давления значительно превышает вес налегающих пород, происходит мгновенное превращение потенциальной энергии пласта в кинетическую и внезапный выброс разрушенного угля и метана. Такое общее представление о механизме внезапного выброса стало приоритетным для большинства исследователей.

Рассмотрим объективную информацию о внезапных выбросах на территории угольных пластов Воркутского месторождения [2]. Месторождение представляет крупную мульду, наибольшая ширина которой 13 км, а длина – 34 км. Максимальная глубина залегания 1200 м. В Воркутском месторождении обрабатывались пласты «Мощный» ($n_{14+13+12+11}$), «Тройной» ($n_{14+13+12}$), «Двойной» (n_{13+12}), «Первый» (n_{14}), «Четвёртый» (n_{11}) и «Пятый» (n_{10}). Нижним является пласт n_{11} . В местах их постепенного слияния по площади распространения образовались промежуточные углистые или породные прослойки.

Подробное описание всех пластов необходимо, чтобы показать места произошедших 267 внезапных выбросов метана и угля. Внезапные выбросы произошли на пластах «Мощный», «Тройной», «Двойной» и «Пятый». Исследование мест всех 267 выбросов на планах горных выработок позволило установить объективные, задокументированные закономерности.

Первый фактор объективный

Все внезапные выбросы произошли из слоев, которые сформировались между объединяющимися пластами. Например, пласт «Мощный» разрабатывался 8 шахтами. Выбросы произошли только на шахтах №18, №25 и №30. На шахте «Комсомольская» (№18 и №25) произошло 37 внезапных выбросов из мягкого сажистого угольного слоя. На поле шахты «Комсомольская» выбросы произошли из сажистого слоя мощностью 0,22–0,4 м в местах сближения пластов нижнего «Четвёртый» и верхнего «Тройной». На пласте «Тройной» внезапный выброс произошёл на шахте №29 на уровне изогипсы – 426 м из мягкого слоя мощностью 0,5 м (рис. 1). Этот слой находился на расстоянии 0,28 м от кровли. На пласте «Тройной» внезапные выбросы угля и газа произошли на шахтах «Северная» (№5 и №7) и «Воркутинская» (№1). На шахте №7 («Северная») произошло 12 внезапных выбросов в течение одного месяца. Все выбросы произошли из сажистого слоя, расположенного между пачками пластов «Первого» и «Двойного» практически рядом на одной линии на изогипсе – 430 м. Мощность сажистого слоя угля при выбросах была 0,7–1,0 м (рис. 1).

¹ РД 05-350-00. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля (породы) и газа. Введена в действие приказом Госгортехнадзора России от 22.06.00 № 36; Инструкция по дегазации угольных шахт. С изменениями и дополнениями от: 20 мая 2015 г., 8 августа 2017 г.

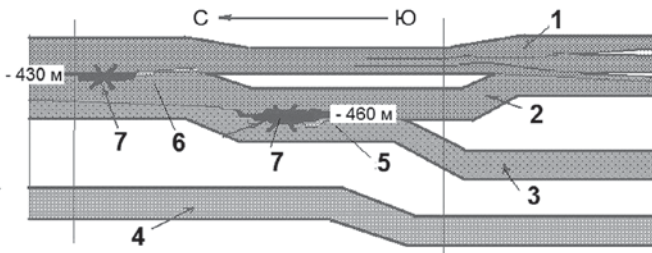


Рис. 1
Схема мест расположения внезапных выбросов метана в местах объединения «Первый» и «Второй» и «Второй» и «Третий»; 1, 2, 3, 4 – соответственно пласты «Первый», «Второй», «Третий» и «Четвёртый»; 5 – пласт «Двойной»; 6 – пласт «Тройной»; 7 – места внезапных выбросов метана и угля

Fig. 1
Location sketch of methane outbursts in junctions of the 'First' and the 'Second' as well as the 'Second' and the 'Third' seams: 1, 2, 3, 4 are the 'First', 'Second', 'Third' and 'Fourth' seams respectively; 5 – the 'Double seam'; 6 – the 'Triple' seam; 7 – locations of methane and coal outbursts

В области слияния пластов «Второй» и «Третий» в пласте «Тройной» на шахте №1 в конвейерном уклоне №2 произошли три внезапных выброса из сажистого слоя угля. Выбросы метана происходили через 2–3 дня на уровне изогипсы –460 м.

Вывод. Местоположения внезапных выбросов обусловлены закономерностями формирования фациальных условий торфяника [2].

Второй фактор объективный

Анализ планов горных выработок всех шахт показал, что внезапные выбросы на пластах различных шахт происходили примерно на одинаковых изогипсах (табл. 1). Одинаковые изогипсы в пласте показывают примерное положение в торфянике относительно береговой линии водоёма. На пласте «Мощный» выбросы на уровне изогипсы около –280 произошли на шахтах «Комсомольская» и «Центральная». На трёх шахтах «Воркутинская», «Северная» №7 и «Северная» №5 произошла серия выбросов на уровне изогипсы –430 м.

Таблица 1
Изогипсы пластов, на уровне которых произошли 267 внезапных выбросов метана и угля на шахтах Воркутского месторождения

Table 1
The contour lines of seams at which level 267 methane and coal outbursts took place in the mines of the Vorkutskoye field

Шахты	Пласт угля	Изогипсы, на которых произошли внезапные выбросы, м
«Комсомольская» (№18, №25)	«Мощный» (n ₁₄₊₁₃₊₁₂₊₁₁)	276; –320; –666; –680; –710... –720
«Центральная»	«Мощный» (n ₁₄₊₁₃₊₁₂₊₁₁)	–280
«Воркутинская» (№1, №40)	«Двойной» (n ₁₃₊₁₂)	–220 ... –300; –326
	«Тройной» (n ₁₄₊₁₃₊₁₂)	–430; –460; –480; –500
«Северная» (№7)	«Тройной» (n ₁₄₊₁₃₊₁₂)	–430
«Северная» (№5)	«Тройной» (n ₁₄₊₁₃₊₁₂)	–430; –552; –554
«Юр-Шор» (№29)	«Тройной» (n ₁₄₊₁₃₊₁₂)	–416

Вывод. Местоположения внезапных выбросов метана обусловлены качественным изменением торфяника на

различном удалении от береговой линии при изменении уровня обводнённости [2].

Третий фактор объективный

Этот фактор обоснован замерах выделения метана из пласта при гидровывании передовых скважин, которые применяли в забоях подготовительных выработок. Замеры производились в штреках №1021-С, №1121-С, №1221-С и №1321-С на пласте «Мощный» шахты «Комсомольская». Пласт состоял из трех слоёв. В верхнем слое залегал крепкий полублестящий полосчатый уголь с коэффициентом крепости по проф. Протодеяконову f = 1, в нижнем слое – крепкий полосчатый слаботрециноватый уголь с f = 1,5. Средний слой матового землисто-зернистого угля мощностью 0,17–0,42 м с коэффициентом крепости f = 0,6 считался выхлопным после серии внезапных выбросов. Показатели крепости никто не проверял, так как они не имеют никакого значения для внезапных выбросов. Главное, что визуально были видны границы среднего слоя.

Методика измерения ВостНИИ заключалась в следующем. Концентрация метана показывалась датчиком у забоя и записывалась круглосуточно на поверхности в диспетчерской. Вторым прибором регистрировалось повышение концентрации метана при достижении 2%. Измерялся расход свежего воздуха, подаваемого вентилятором к забоям. До начала вымывания передовых полостей фиксировалась фоновая концентрация метана. В забое вымывали 7 полостей, 6 из которых длиной 15 м, и одну, среднюю, полость – длиной 20 м. Опережающие полости расположены веерообразно, чтобы обработать полосы массива пласта шириной 4 м по обе стороны от выработки. Во время гидровывания полостей записывалась прибором концентрация метана, и по методике ВостНИИ рассчитывался объём выделившегося метана из дегазированного участка в среднем слое. Объём выделившегося метана из прочных слоёв рассчитывался по записям концентрации метана во время работы проходческого комбайна. При вымывании последующей серии полостей по сохранившимся целичкам между полостями фиксировалось расстояние от плоскости забоя во время начала повышенного выделения метана. По этим замерам рассчитывался объём метана, выделившегося из дегазированного участка. Точность замеров и расчётов достаточна для количественной оценки выделившегося метана при вымывании серии полостей.

В штреке №1021-С замеры производились на участке длиной 92 м. На 52-м метре в забое произошел внезапный (№28) выброс 10 т угля и 2760 м³ метана. Выход штыба с 1 м полосы 3,2 т. Выход угля с 1 м забоя 13,5 т. До внезапного выброса метаноносность в среднем слое изменялась от 15,2 до 53,8 м³ на 1 т горной массы, а в крепких слоях пласта – от 1,7 до 15,6 м³/т. Средняя метаноносность выхлопного слоя на этом участке пласта 34,3 м³/т, а прочных слоёв – 7,8 м³/т. Средняя метаноносность пласта составила 12,9 м³/т, а определённая геологами 19,3 м³/т. Повышенное выделение метана при вымывании полостей появилось на расстоянии 7 м за внезапным выбросом.

В штреке №1121-С на участке длиной 118 м метаноносность среднего выхлопного слоя изменялась от 4,9 до 28,7 м³/т, а прочных слоёв от 3,0 до 6,3 м³/т. В штреке №1221-С на участке длиной 552 м на уровне изогипсы – 710 м (табл. 1) произошло 7 внезапных выбросов. Все выбросы происходили в среднем слое между изопакитами от 0,1 до 0,5 м. Метаноносность среднего слоя при отдельных вымываниях полостей была 64,9; 78,0; 70,7; 57,5; 52,7; 65,5 и

103,5 м³/т. Метаноносность прочных слоёв изменялась от 1,9 до 39,3 м³/т. При этом метаноносность 103,5 м³/т была замерена на расстоянии 15 м от произошедшего ранее выброса 18 т горной массы и 3000 м³/м.

Анализ результатов замеров показал, что природная метаноносность угольных слоёв на расстоянии 3,5–5 м может отличаться в несколько раз. Участки выбросоопасного слоя и прочные пачки угля имеют низкую природную проницаемость для метана, и даже после внезапного выброса на соседних участках пласта на расстоянии 10–15 м от полости выброса сохраняется метан в больших количествах.

Вывод. Локальная слоевая и концентрация метана обусловлена различной структурой органической массы и фациальных условий [2].

Четвёртый фактор объективный

Измерения газодинамических процессов были выполнены на пласте «Мощный» в процессе гидровывывания опережающих полостей по среднему выбросоопасному слою в штреке № 1321-С. На рис. 2 показаны увеличенные фрагменты угольного вещества, взятые из слоёв пласта «Мощный» в месте проведения замеров.

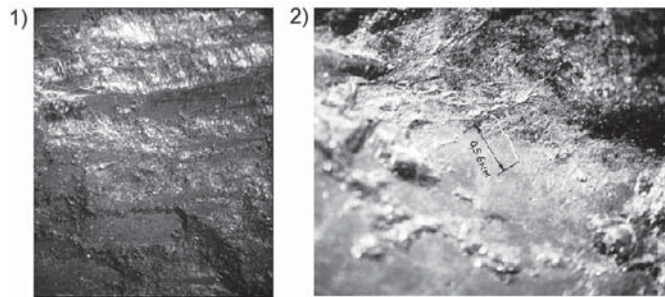


Рис. 2
Фото фрагментов угольных слоёв пласта «Мощный»: 1 – прочный слой; 2 – средний выбросоопасный слой

Fig. 2
Pictures of the 'Thick' seam's coal layer fragments: 1 – the hard layer; 2 – the middle outburst-prone layer

Анализ аншлиф-брикетов из 4 проб выбросоопасного слоя показал, что содержание витринита изменяется от 49 до 82%, а фюзинита – от 13 до 39%. Минеральным включением является глинистое вещество – от 1 до 12%.

Вывывание осуществляли горнорабочие шахты в подготовительную смену. Измерения и наблюдения выполнял один из авторов статьи. Аналогичные гидровывывания производили 3 раза. Здесь представлены результаты одного из них. Ширина выработки 5 м. Длина шести полостей 15 м, а центральной полости – 20 м. Гидровывывание полостей производилось в следующей последовательности: 2 – 6 – 4 – 1 – 3 – 5 – 7. Вначале вымывали чётные, а затем нечётные полости между ними и по краям. Новые полости вымывали по промежуточным целикам, оставшимся между полостями. В каждой полости метан начинал выделяться за дегазированной полосой выбросоопасного слоя. Во время вымывания полости №2 на расстоянии от плоскости забоя стали происходить удары в массиве и выбросы метана из полости. Затем на расстоянии 15 м произошёл выброс метана. Из полости №6 выделение метана увеличилось, когда насадка была на расстоянии 9,5 м от забоя. В течение 10 мин из полости активно выделялся метан, наблюдались небольшие выбросы пыли и метана. Затем выбросы происходили через каждые 2 м. Центральная полость №4 заработала при длине полости 10,5 м. Первый микровыброс произошел на расстоянии 14,7 м от забоя. Всего

было 3 микровыброса, которые произошли через 2 и 2,8 м. При вымывании полости № 1 концентрация метана в забое превысила 2% при глубине полости 6 м. На девятом метре были слышны удары в массиве, концентрация превысила 2,5%. Внезапный микровыброс произошел на пятнадцатом метре полости. Вымывание полости № 3 вначале происходило спокойно. Только на расстоянии 9,5 м от забоя пошел газ. Зажало став трубопровода. При вымывании полости № 5 динамические процессы не происходили. Из крайней полости № 7 произошло выделение метана на 6 м полости. Во время вымывания происходили удары в массиве. Внезапный выброс метана и мелких фракций пыли произошёл на 15-м метре полости.

Во время вымывания из полостей поднималось метано-пылевое облако. При увеличении дебита облако приобретало коричневый цвет и происходил выброс тонко-дисперсной пыли массой 10–12 кг на расстояние до 12 м от забоя. При этом всем, кто выполнял процесс вымывания полостей, приходилось убежать в сторону выхода из выработки, забыв об изолирующем самоспасателе.

Вывод. В результате замеров установлено, что величина природной метаноносности имеет локальный характер в слоях угольного пласта. Газопроницаемость между соседними объёмами метана в слое незначительная или возможно отсутствует из-за минеральных примесей в виде глинистых веществ. При вымывании передовых веерообразных полостей в зоне двухосного и одноосного сжатия происходит частичное раздавливание промежуточных целичков. Раздавливание ограничивается расстоянием 1,2 м между соседними полостями.

Пятый фактор объективный

На всех шахтах по каждому разрабатываемому угольному пласту в результате технического и элементного анализа определяется процентное содержание летучих веществ и устанавливается массовая концентрация атомов углерода С, водорода Н и кислорода О. Эта информация служит доказательством, что органическая составляющая в пласте состоит из конденсированных атомов, которые не разрушаются при температуре 900 °С, и отдельных атомов, которые могут образовывать молекулы метана. Однако анализ навески массой 1 г не может дать информацию об аномальных молекулярных структурах в возможных зонах внезапных выбросов метана.

Объективная информация из публикаций

Экспериментальными исследованиями установлено повышение температуры в образцах угля при разрушении сдвигом в условиях неравнокомпонентного сжатия при минимальном главном напряжении $\sigma_3 > (5-7)$ МПа, а $\sigma_1 = \sigma_0 (0,7-0,8)$. В условиях объёмного сжатия образца угля 40×40 мм давлением до 5 МПа отмечено повышение температуры образца на 3 °С. Установлено повышение температуры на 13,3 °С в передовой скважине на расстоянии 11,7 м от плоскости забоя. Средняя температура в забое 30 °С [3; 4]. По данным О.Н. Малинниковой [3], впереди забоя выработки отмечены зоны с раскалённым углём.

Научные гипотезы и методы исследования

Внезапные выбросы метана изучали специалисты в области технологии разработки, геомеханики, химии, математики и др. Чл.-корр. РАН Опарин В.Н. и Киреева Т.А. отмечают [5], что «...адекватное решение проблем выбросоопасности и пожароопасности угольных месторождений

должно основываться на учете реально существующей тесной связи между геомеханическими и физико-химическими массообменными процессами...». Однако основными процессами приняты геомеханические. Китайские учёные Xia T., Wang X. и др. [6; 7] продолжают рассматривать газопроницаемость, сорбцию и десорбцию метана, самонагревание угля также с позиций геомеханики. Авторы публикации [8] поддерживают ранее принятую гипотезу, что газообразование в пласте происходит в процессе трансформации механической энергии в энергию трения и кинетическую энергию. Кинетическая энергия увеличивается, что приводит к генерации новых молекул газа. Для повышения эффективности дегазации исследуют различные прикладные закономерности механики разрушения, газодинамики и механики горных пород, чтобы выяснить физические механизмы мгновенных выбросов [9].

Основными препятствиями для изучения выбросоопасности являются, во-первых, виртуальное представление структуры угольных пластов и, во-вторых, отсутствие количественных результатов изучаемых физических процессов. Описания качественных результатов породили многовариантность полученных гипотез и теорий. Имеются, например, такие утверждения, что существенный вклад в выделение метана вносят механоэлектрические эффекты. Однако авторы не понимают причины и следствия этих процессов. Этот эффект не раскрывает физических процессов в твёрдом теле [10]. По нашему мнению, количественные результаты можно получить при условии, что будут учтены энергетические источники физических процессов в угольном пласте.

Квантовая теория источников энергии в угольном пласте. Анализ третьего объективного фактора позволяет заключить, что метаноносность образовалась в период геологического этапа преобразований в угольном пласте. В современных условиях для образования метана в пласте имеются два объективных условия.

Доказательной базой первого объективного условия образования метана в пласте являются результаты технического и элементного анализа всех пластов. Выход летучих веществ и массовая концентрация химических элементов являются резервом для образования метана. Так, на шахте «Польсаевская» в пласте «Бреевский» природная метаноносность 6 м^3 метана, которая состоит из $1,67 \cdot 10^{26}$ атомов углерода и $6,68 \cdot 10^{26}$ атомов водорода. Метан этот образовался в период метаморфизма. В пласте в 1 тонне горной массы выход летучих составляет 337 кг, в том числе углерода 298 кг, водорода 19,4 кг и кислорода 28,8 кг. Количество атомов углерода $C = 1,45 \cdot 10^{28}$, водорода $H = 1,17 \cdot 10^{28}$ и кислорода $O = 1,45 \cdot 10^{28}$.

Со вторым условием сложнее. Это условие можно доказать только с применением квантовой теории. Для всех физико-химических процессов в пласте нужен внешний источник тепловой энергии.

На основе обобщения основных аксиом квантовой физики авторами статьи впервые разработана для практического применения квантовая теория энергетических процессов в молекулярных структурах [11; 12]. Все атомы имеют электронную структуру в соответствии с принципом Паули (1925 г.) и обладают электрическим и магнитным полем и частотой электромагнитной волны при обращении вокруг ядра атома. Внешнее электромагнитное излучение также характеризуется энергией, частотой излучения и длиной волны. В квантовой физике единицей энергии принят 1 квант, частота излучения которого 1 Гц,

а энергия – $6,626176 \cdot 10^{-34}$ Дж. Единицей распространения электромагнитной энергии принят фотон, энергия которого равна произведению постоянной Планка на частоту излучения $E = h \cdot \nu$, Дж, где $h = 6,626176 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка; ν – частота электромагнитного излучения, 1/с (Гц). Фотон всегда находится в движении.

Вокруг атома диполем наводится электромагнитное поле, в котором электроны располагаются на определённых энергетических уровнях. Расстояние от электрона до ядра соответствует энергии связи электрона с ядром атома. Валентные электроны любого вещества, находящиеся на внешней оболочке атома, могут поглощать и излучать фотоны энергии. Электрон поглощает (присоединяет) прилетевший фотон с энергией, величина которой находится в пределах энергии связи электрона с ядром атома этого вещества. Электрон возбуждается, его энергия увеличивается на величину поглощённого фотона, и он перескакивает на один из уровней в электромагнитном поле ядра с большей энергией, который находится дальше от ядра. Электромагнитные силы притяжения ядра останавливают электрон, а фотон продолжает движение. Фотон переносит электрон. Продолжительность пребывания электрона на уровне возбуждённого состояния порядка $10^{-8} - 10^{-10}$ с. Электрон испускает поглощённый фотон энергии полностью или по частям, перескакивая ближе к ядру на уровни с меньшей энергией. После излучения фотон будет поглощён электроном другого атома.

Типы энергетических способов отделения атома от атома

Реально действуют два способа. **Первый способ** энергетический. Второй способ силовой. Энергетический способ известен из молекулярно-кинетической теории (МКТ). Однако он даёт общее представление о результате реакции. В квантовой энергии рассматривается каждый атом. Например, атомы С и Н связаны между собой валентными электронами, которые энергетически связаны с чужим ядром атома, но энергия связи одинакова у обоих электронов и равна 2,14 эВ. В сумме энергия двух электронов равна 4,28 эВ, или 414 кДж/моль ($1 \text{ Дж} = 6,24146 \cdot 10^{18}$ эВ). Расстояние между атомами может изменяться. При поглощении энергии атом перескакивает на энергетический уровень дальше от ядра, расстояние между атомами и объём молекулы увеличиваются. Большое количество подуровней позволяет атому поглощать и испускать значительный спектр частот электромагнитных волн тепловой энергии. При поглощении каждым электроном электромагнитных излучений, подчёркиваем – каждым, связь энергетическая приближается к нулю и атомы разъединяются. Энергия разрыва может быть и меньше, это зависит от того, на каком возбуждённом энергетическом уровне электроны находились, т.е. от температуры окружающей среды.

Второй способ мы рассматриваем впервые. Он вытекает из анализа энергетической связи между атомами и свойств электрона. Между соединёнными атомами возникают энергия связи и силы отталкивания [11]. Так, между ядрами атомов С-Н при расстоянии 110 нм силы притяжения и отталкивания равны. Но если это расстояние ещё уменьшать, то возрастает сила отталкивания и при некотором минимальном расстоянии происходит разделение атомов. При этом для силового отталкивания достаточно внешнего давления только на 1 атом с энергией, эквивалентной 2,14 эВ. Природа этой энергии не электромагнитное излучение, а силовое сжатие атомов и молекул

вещества. При постепенном сжатии молекул происходит уменьшение диаметра орбитали и объёма атома. Электрон вынужден перескакивать на энергетические уровни с большей энергией и излучать фотоны с большей энергией, нагревая окружающую среду.

Реализация на практике второго способа

Например, при сжатии в дизельном двигателе объёма воздуха в 25 раз температура повышается до 900 °С. После этого впрыскивается горючее С₁₄Н₃₀ под давлением до 8,17 МПа, и происходит реакция разложения горючего.

Второй способ в угольном пласте реализовался во время геологического периода погружения. В пласте повышалась плотность вещества, в условиях объёмного сжатия усиливались внутренние напряжения и деформации.

Давление горных пород определяется по формуле $p = k \cdot \gamma \cdot H_{гп}$, Н/м², где γ – средняя плотность вышележащих горных пород, кг/м³; $H_{гп}$ – высота столба пород (глубина залегания пласта), м; k – коэффициент концентрации горного давления на участке пласта.

Вне влияния горно-геологических деформаций и горных работ $k = 1$, в пласте происходили постепенные физико-химические процессы метаморфизма в соответствии с увеличением глубины $H_{гп}$ залегания пласта.

Второй способ реализуется при иницировании газодинамического процесса в пласте

В качестве примера рассмотрим изменение энергетических процессов в массиве в зоне влияния горных работ, например, при $k = 5$, $\gamma = 2500$ кг/м³ и $H = 500$ м. Давление горных пород на пласт равно

$$p = 5 \cdot 2500 \cdot 100 = 12,5 \cdot 10^5 \text{ кг/м}^2 = 12,5 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2.$$

Силовое давление переводим в тепловую энергию

$$E = 12,5 \cdot 10^6 \cdot \text{Н} \cdot \text{м/м}^3 = 12,5 \cdot 10^6 \text{ Дж/м}^3.$$

Тепловую энергию переводим в электрон-вольты

$$E = 12,5 \cdot 10^6 \cdot 6,241 \cdot 10^{18} = 7,8 \cdot 10^{25} \text{ эВ/м}^3.$$

Расчёт необходимо вести для выбросоопасного слоя, так как этот слой и мощность его известны. Прочность его меньше и сжатие будет сильнее. Предположим, что мощность его равна 0,25 м, как у пласта «Мощный». Суммарная энергия сжатия в этом слое равна

$$E = 7,8 \cdot 10^{25} \cdot 1 / 0,25 = 31,2 \cdot 10^{25} \text{ эВ}.$$

Для отделения 4 атомов водорода и 1 атома углерода затрачивается 10,39 эВ. В выбросоопасном слое образуется $3,0 \cdot 10^{25}$ молекул метана. При образовании метана выделится энергия $62,22 \cdot 10^{25}$ эВ. В результате образуется дополни-

тельно ещё метан, суммарное количество может достигать $6,0 \cdot 10^{25}$ молекул, или 2,26 м³ метана на 1 м² выбросоопасного слоя.

Лавинообразное генерирование метана в угольном пласте [11]

В молекулярной структуре происходят два типа процессов электромагнитного излучения электронами: спонтанные и вынужденные. Спонтанные – это обычные излучения, энергия которых незначительна и которые корректируют температуру в пласте. Процесс вынужденных излучений возникает при скачкообразных энергетических напряжениях в пласте. Количество излучающих электронов резко возрастает. Электрон атома не успевает излучить один фотон, как поглощает второй. Поэтому он излучает сразу два фотона. Затем каждый атом излучает по 2 фотона. Происходит цепная реакция излучений, увеличиваются температура и кинетическая энергия молекул метана в замкнутом пространстве пор в пласте. Увеличивается скоростной напор на перемычку угольного слоя, отделяющую метан от забоя выработки. Внезапному выбросу способствует то, что прочность угольного слоя в приграничной зоне снижена в результате отжима.

Перспективы предотвращения внезапных выбросов метана

Объективные факторы условий внезапных выбросов метана позволили, во-первых, установить влияние закономерностей формирования и свойств торфяника на расположение выбросоопасных зон; во-вторых, получить количественные результаты энергетических процессов в молекулярной структуре угольного пласта; в-третьих, показать закономерности увеличения количества и скоростного напора метана; в-четвёртых, объяснить механические процессы иницирования в выбросоопасном слое механизма внезапного разрушения перемычки, отделяющей энергетически возбуждённый участок от выработки [11; 12].

Для эффективного предотвращения внезапных выбросов необходимо не прогнозировать, а устанавливая и идентифицировать опасные метаноносные участки по геологическим признакам [2]. Необходимо с применением квантовой теории исследовать способы предотвращения вынужденных процессов электромагнитных излучений, которые повышают температуру и скоростной напор метана в опасных слоях угольных пластов.

Список литературы

1. Ходот В.В. *Современные представления о природе и механизме внезапных выбросов угля и газа. Материалы совещания по внезапным выбросам угля и газа*. М.: Углетехиздат; 1952.
2. Колесниченко Е.А., Артемьев В.Б., Колесниченко И.Е. *Внезапные выбросы метана: теоретические основы*. М.: Горное дело; 2013. 232 с.
3. Малинникова О.Н. Механохимическое образование метана при разрушении угля. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений. *Научный журнал Российского газового общества*. 2019;(1):10–16.
4. Фейт Г.Н., Малинникова О.Н. Предельное напряжённое состояние и процессы разрушения трещиноватых газоносных угольных пластов. В: *Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках: Материалы XXII Международной научной школы им. акад. С.А. Христиановича, Крым, Алушта, 17–23 сентября 2012 г.* Симферополь: Таврический национальный университет, 2012. С. 335–337.
5. Опарин В.Н., Киряева Т.А. Геомеханические и физико-химические процессы, определяющие выбросо- и пожароопасность угольных пластов Кузбасса. Механизмы разрушения горных пород. *Вестник инженерной школы Дальневосточного федерального университета*. 2014;(3):69–87. Режим доступа: <https://www.dvfu.ru/vestnikis/archive-editions/3-20/7/>
6. Xia T., Wang X., Zhou F., Kang J., Liu J., Gao F. Evolution of coal self-heating processes in longwall gob areas. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2015;86:861–868. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.03.072.
7. Xia T., Zhou F., Gao F., Kang J., Liu J., & Wang J. Simulation of coal self-heating processes in underground methaniferous coal seams. *International Journal of Coal Geology*. 2015;141-142:1–12. DOI: 10.1016/j.coal.2015.02.007.
8. Luo Y., Li S. Excess Coalbed Methane Production Mechanism in the Process of Coal Tectonic Deformation. *Journal of Geoscience and Environment Protection*. 2016;4(7):175–178. DOI: 10.4236/gep.2016.47019.

9. Chen K. A new mechanistic model for prediction of instantaneous coal outbursts - Dedicated to the memory of Prof. Daniel D. Joseph. *International Journal of Coal Geology*, 2011;87(2):72–79. DOI: 10.1016/j.coal.2011.04.012.
10. Махмудов Х.Ф. Термоактивационный механизм релаксации механоэлектрических эффектов в твёрдых диэлектриках. *Журнал технической физики*. 2011;81(1):76–61. Режим доступа: <https://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/10200>
11. Колесниченко И.Е., Артемьев В.Б., Колесниченко Е.А., Любомущенко Е.И. *Квантовая теория энергетических процессов в молекулярных структурах угольного пласта*. М.: Горная книга; 2020. 40 с. Режим доступа: <http://www.gornaya-kniga.ru/catalog/2246>
12. Колесниченко И.Е., Артемьев В.Б., Колесниченко Е.А., Любомущенко Е.И. Основы квантовой теории образования в угольных пластах и дегазации метана. *Горная промышленность*. 2019;(2):47–50. DOI: 10.30686/1609-9192-2019-2-144-47-50.

References

1. Khodot V.V. *Current views on the nature and mechanism of coal and gas outbursts. Proceedings of the meeting on coal and gas outbursts*. Moscow: Ugletekhizdat; 1952. (In Russ.)
2. Kolesnichenko E.A., Artemiev V.B., Kolesnichenko I.E. *Methane outbursts: theoretical foundations*. Moscow: Gornoe delo; 2013. 232 p. (In Russ.)
3. Malinnikova O.N. Mechanochemical generation of methane during coal failure. *Nauchnyi zhurnal Rossiiskogo gazovogo obshchestva = Scientific Journal of the Russian Gas Society*. 2019;(1):10–16. (In Russ.)
4. Feit G.N., Malinnikova O.N. The ultimate stress state and failure processes in fractured gas-bearing coal seams. In: *Deformation and failure of materials with defects and dynamic phenomena in rocks and mine excavations: Proceedings of the XXII International Scientific School named after Academician S.A. Khristianovich, Crimea, Alushta, September 17-23, 2012*. Simferopol: Taurida National University, 2012, pp. 335–337. (In Russ.)
5. Oprarin V.N., Kiryaeva T.A. Geomechanical and physicochemical processes as deter-minants of outburst hazard and fire risk in the coal beds of Kuzbass. *Vestnik inzhenernoi shkoly Dalnevostochnogo federalnogo universiteta = The Far Eastern Federal University: School of Engineering Bulletin*. 2014;(3):69–87. (In Russ.) Available at: <https://www.dvfu.ru/vestnikis/archive-editions/3-20/7/>
6. Xia T., Wang X., Zhou F., Kang J., Liu J., Gao F. Evolution of coal self-heating process-es in longwall gob areas. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2015;86:861–868. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.03.072.
7. Xia T., Zhou F., Gao F., Kang J., Liu J., & Wang J. Simulation of coal self-heating processes in underground methane-rich coal seams. *International Journal of Coal Geology*. 2015;141-142:1–12. DOI: 10.1016/j.coal.2015.02.007.
8. Luo Y., Li S. Excess Coalbed Methane Production Mechanism in the Process of Coal Tectonic Deformation. *Journal of Geoscience and Environment Protection*. 2016;4(7):175–178. DOI: 10.4236/gep.2016.47019.
9. Chen K. A new mechanistic model for prediction of instantaneous coal outbursts - Dedicated to the memory of Prof. Daniel D. Joseph. *International Journal of Coal Geology*, 2011;87(2):72–79. DOI: 10.1016/j.coal.2011.04.012.
10. Makhmudov K.F. Thermoactivation mechanism of relaxation of the mechanoelectric effects in solid dielectrics *Technical Physics*. 2011;56(1):72–77. DOI: 10.1134/S1063784211010166.
11. Kolesnichenko I.E., Artemiev V.B., Kolesnichenko E.A., Lyubomishchenko E.I. *Quantum theory of energy processes in coal seam molecular structures*. Moscow: Gornoe delo; 2020. 40 p. (In Russ.) Available at: <http://www.gornaya-kniga.ru/catalog/2246>
12. Kolesnichenko I.E., Artemiev V.B., Kolesnichenko E.I., Lyubomishchenko E.I. Fundamentals of the quantum theory of coal bed methane formation and gas drainage. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2019;(2):47–50. (In Russ.) DOI: 10.30686/1609-9192-2019-2-144-47-50.

Информация об авторах

Колесниченко Игорь Евгеньевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой проектирования и строительства автомобильных дорог, заместитель директора по учебной работе Автодорожного института (филиала), Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова; г. Шахты, Российская Федерация; e-mail: kolesnichenko_igor@rambler.ru

Колесниченко Евгений Александрович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры проектирования и строительства автомобильных дорог Автодорожного института (филиала), Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова; г. Шахты, Российская Федерация; e-mail: kolesnichenko-2718@rambler.ru

Любомущенко Екатерина Игоревна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры проектирования и строительства автомобильных дорог Автодорожного института (филиала), Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова; г. Шахты, Российская Федерация; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9495-7385>; e-mail: katya87lk@mail.ru

Колесниченко Евгений Игоревич – студент кафедры проектирования и строительства автомобильных дорог Автодорожного института (филиала), Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова; г. Шахты, Российская Федерация; e-mail: z_kolesnichenko@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 12.01.2021

Поступила после рецензирования: 19.01.2021

Принята к публикации: 25.01.2021

Information about the authors

Igor E. Kolesnichenko – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Motor Road Design and Construction Department, Deputy Director for Educational Activities of the Shakhty Road Institute (branch), Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Shakhty, Russian Federation; e-mail: kolesnichenko_igor@rambler.ru

Evgeny A. Kolesnichenko – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Motor Road Design and Construction Department of the Shakhty Road Institute (branch), Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Shakhty, Russian Federation; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9495-7385>; e-mail: kolesnichenko-2718@rambler.ru

Ekaterina I. Lyubomishchenko – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Assistant Professor at the Motor Road Design and Construction Department of the Shakhty Road Institute (branch), Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Shakhty, Russian Federation; e-mail: katya87lk@mail.ru

Evgeny I. Kolesnichenko – Student at the Motor Road Design and Construction Department of the Shakhty Road Institute (branch), Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Shakhty, Russian Federation; e-mail: z_kolesnichenko@mail.ru

Article info:

Received: 12.01.2021

Revised: 19.01.2021

Accepted: 25.01.2021