

Взрывы и выбросы метана: квантовая теория метаноносности, выбросоопасности и дегазации угольных пластов

И.Е. Колесниченко¹✉, В.Б. Артемьев², Е.А. Колесниченко¹, Е.И. Любомищенко¹

¹ Шахтинский автодорожный институт (филиал) Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М.И. Платова, г. Шахты, Российская Федерация

² АО «СУЭК», г. Москва, Российская Федерация

✉ kolesnichenko-2718@rambler.ru

Резюме: История угледобычи в России и за рубежом связана с необходимостью повышения эффективности разработки угольных пластов, а также с поиском способов предотвращения негативных проявлений метана. Решение проблем метанобезопасности при разработке угольных пластов подземным способом зависит от уровня знаний опасных свойств угольных пластов. Целью исследования является обоснование применения принципов и аксиом квантовой теории при решении проблем метанобезопасности. В статье показано несовершенство знаний о процессах в угольных пластах при изучении их применяемыми методами химии и физики. Приведены экспериментальные доказательства молекулярной структуры угля на всех стадиях метаморфизма. Показано влияние горного давления, исходного растительного материала и свойств атомов вещества на уровень метаморфизма, метаноносность и выбросоопасность угольного пласта. В соответствии с квантовой теорией электроны атомов углерода С и водорода Н находятся на возбужденном энергетическом уровне $n = 4$. После соединения этих атомов в молекулу метана CH_4 происходит испускание атомами фотонов энергии, и они переходят на наименьший уровень $n = 1$. В результате давление метана в массиве пласта снижается, плотность газа повышается, а молярный объём уменьшается и приближается к жидкому состоянию, объём при котором равен $99 \text{ см}^3/\text{моль}$. После выделения в выработку молярный объём метана становится равным $22\,470 \text{ см}^3/\text{моль}$. Это доказывает, что для активизации выхода метана из угольного пласта необходимо повышать внутреннюю энергию атомов. Установлено, что эффективность дегазации метана зависит от повышения его давления в пласте при искусственном облучении электромагнитными волнами с помощью внешнего источника.

Ключевые слова: метаноносность, выбросоопасность, дегазация, угольный пласт, квантовая теория, фотоны, внутренняя энергия, электромагнитные излучения, атомы, молекулярная структура, метаморфизм, выход летучих, горное давление, пористость, энергетический уровень, иницирование

Для цитирования: Колесниченко И.Е., Артемьев В.Б., Колесниченко Е.А., Любомищенко Е.И. Взрывы и выбросы метана: квантовая теория метаноносности, выбросоопасности и дегазации угольных пластов. *Горная промышленность*. 2019; (4):00–00. DOI: 10.30686/1609-9192-2019-4-138-143

Methane Explosions and Outbursts: Quantum Theory of Methane Content, Outburst Hazards and Methane Drainage from Coal Beds

I.E. Kolesnichenko¹✉, V.B. Artemiev², E.A. Kolesnichenko¹, E.I. Lyubomishchenko¹

¹ Shakhty Road Institute (branch) of the Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Shakhty, Russian Federation

² JSC SUEK, Moscow, Russian Federation

✉ kolesnichenko-2718@rambler.ru

Abstract: Historically, coal mining in Russia and abroad has been concerned with the need to improve the efficiency of coal bed excavation as well as to find ways to prevent adverse methane emissions. The success in responding to methane safety challenges in underground coal mining depends on the level of knowledge about the hazardous properties of coal beds. The research objective was to justify the application of the quantum theory principles and axioms in securing methane safety in coal mines. The paper demonstrates shortcomings in our understanding of the processes that take place in coal beds being investigated using current chemical and physical methods. Experimental evidences are provided of the molecular structure of coal at all the metamorphic stages (coal ranks). Impact of the rock pressure, original plant materials and atom properties on the degree of metamorphism, methane content and outburst hazard of the coal bed is described. According to the Quantum theory, electrons of carbon (C) and hydrogen (H) atoms are at the excited energy level $n = 4$. Upon combination of these atoms in a methane molecule (CH_4), they irradiate energy photons and migrate to the lowest energy level $n = 1$. As the result, the methane strata pressure is dropping, the gas density is rising, while the molecular volume is decreasing and approaching the liquid phase, when

its volume is equal $99 \text{ cm}^3/\text{mol}$. Once the methane is outburst into the excavation, its molecular volume goes to $22\,470 \text{ cm}^3/\text{mol}$. This proves that in order to stimulate methane discharge from the coal bed it is required to boost the intrinsic energy in atoms. The efficiency of methane drainage was established to be controlled by its increased strata pressure as the result of artificial electromagnetic wave treatment using an external source.

Keywords: methane content, outburst hazard, gas drainage, coal bed, quantum theory, photons, intrinsic energy, electromagnetic emissions, atoms, molecular structure, coal rank, volatile-matter yield, rock pressure, porosity, energy level, initiation

For citation: Kolesnichenko I.E., Artemiev V.B., Kolesnichenko E.A., Lyubomishchenko E.I. Methane Explosions and Outbursts: Quantum Theory of Methane Content, Outburst Hazards and Methane Drainage from Coal Beds. *Russian Mining Industry*. 2019;(4):00–00. (In Russ.) DOI: 10.30686/1609-9192-2019-4-138-143

Введение

Актуальность. Проблема метанобезопасности при разработке угольных пластов подземным способом продолжает оставаться актуальной для России. Решение её зависит от уровня знания опасных свойств угольных пластов. Разрабатываемые пласты включают горючие компоненты органического происхождения, обладающие полезными химико-технологическими свойствами. Но при их разработке могут возникать природные опасности, связанные с выделением метана при выполнении технологических процессов в шахтную атмосферу. Вся история угледобычи в России и за рубежом связана с необходимостью повышения эффективности разработки угольных пластов, а также с поиском способов предотвращения негативных проявлений метана.

Подземная разработка угольных пластов сопровождается выполнением большого количества научных направлений, изучающих физические характеристики угольных пластов и различные природные явления в горных породах. Угольный пласт – это сложное геологическое тело. Анализ технической литературы показал, что представление об угольных пластах основано на изучении разрозненных локальных участков угольных пластов. Применяемые методы исследования не отображают реальную действительность. Поэтому при исследовании продолжается уточнение знаний об образовании природной метаноносности, газопроницаемости и формах нахождения метана в пласте. От достоверности этих знаний зависят способы предотвращения внезапного выброса метана из пласта, взрыва метана в выработке и методы эффективной предварительной дегазации угольных пластов. Авторы считают, что фактографические данные и интуитивные гипотезы современных исследователей могут быть основным этапом при изучении метанобезопасности с применением фундаментальных принципов квантовой физики.

Цель работы. Обосновать реальность и область применения принципов и аксиом квантовой теории для исследования процессов образования природной метаноносности, форм содержания метана в пласте, закономерностей выбросоопасности метана и эффективности предварительной дегазации угольных пластов.

Научная методология. Объектом исследования являются природные принципы образования характеристик торфяников и угольных пластов, отражение достоверных процессов в угольных пластах, происходивших в различные периоды геологического времени, обоснование физических закономерностей квантовой теории для получения достоверных результатов исследования.

Обоснование предлагаемой концепции. При описании процессов в угольных пластах и изучении метанобезопасности исследователи применяют методы молекулярно-кинетической теории (МКТ), термодинамики, теплофизики, геодинимики. Эти методы оперируют такими определениями, как энергия, распространение энергии, температура, пламя, горение, взрыв, формы содержания метана, метаморфизм, вне-

запный выброс метана, эндотермическая и экзотермическая реакция, закивание, тепловое излучение и др. Однако эти научные гипотезы дают общее представление об опасных физических и химических процессах. Например, молекулярно-кинетическая теория объясняет тепловые явления в макроскопических телах и свойства этих тел. Перенос энергии осуществляется в форме тепла. Энергия – это мера способности системы совершать работу, общая качественная мера движения и взаимодействия материи. С такой глубиной знаний невозможно исследовать физические процессы метанобезопасности.

Несовершенство знаний о процессах горения и взрыва показывают определения: горючее вещество, горение, взрыв и др. Что можно узнать о горючем, если это вещество или смесь, способное поддерживать горение, а горение – это сложный физико-химический процесс, при котором превращение вещества сопровождается интенсивным выделением тепла, ярким свечением и тепломассообменом с окружающей средой. Пламенем называют газы в раскаленном виде, в которых присутствуют составляющие плазмы или вещества в твердой дисперсной форме, а закивание – это процесс инициирования начального очага горения в горючей смеси за счет ввода в смесь извне высокотемпературного источника тепловой энергии. Взрыв – одна из разновидностей реакции горения, её характерным отличием является исключительно быстрое, практически мгновенное протекание реакции в объеме [1; 2].

Авторы считают, что содержание этих терминов необходимо уточнить с учётом квантовой теории. Аксиомой является основное положение квантовой физики об образовании и переносе тепловой энергии в молекулярной структуре вещества [3; 4]. Атомы химических элементов поглощают и испускают тепловую энергию в форме электромагнитных волн (фотонов). В теле пласта атомы также постоянно испускают и поглощают электромагнитные волны, поддерживая положительную температуру. Чтобы в угле образовался метан, нужно разорвать химические связи атомов водорода и углерода от бахромы макромолекул угля.

Подтверждения молекулярной структуры угля

Первым представлением о молекулярной структуре метаморфизованных типов угля можно считать формулу Д.И. Менделеева (1897 г.), в которой приведен расчёт высшей теплоты сгорания по массовой концентрации химических элементов углерода С, водорода Н, серы S и кислорода О.

Российскими петрографами М.Д. Залесским [5], И.Э. Вальц [6] и др. установлено, что в период торфонакопления протекали два основных первичных процесса превращения материнского вещества углей: при максимуме обводнённости торфяника – процесс гелификации, при минимуме обводнённости – процесс фюзенизации. Гелификация тканей растений происходила в анаэробных условиях. Российские учёные Ю.А. Жемчужников, Г.А. Иванов, И.Э. Вальц, М.В. Богдано-

ва и другие доказали, что процесс торфонакопления сопровождался разложением составляющих элементов органического вещества с последующими физико-химическими превращениями до перекрытия его водой и слоем породы [6–7]. Под воздействием теплового солнечного излучения электромагнитными волнами макромолекулы лигнина, целлюлозы, жиров и восков разделялись на мелкие фрагменты с последующим образованием коллоидных более крупных частиц [9]. В процессе фюзенизации в аэробных условиях прекращалась коагуляция и сохранялась молекулярная структура фрагментов частиц растений, которые можно разглядеть в микроскоп.

Метаморфизм угля: геологические и энергетические процессы

Метаморфизм – это показатель, характеризующий изменения химического состава, структуры и физических свойств в угольном пласте за геологический период от торфообразования до настоящего времени. В качестве показателя метаморфизма приняты различные марки угля от бурого до антрацита, которые отличаются массовой концентрацией углерода и выходом летучих веществ. Считается, что от уровня метаморфизма зависит природная метаноносность, выбросоопасность, количество метана в свободной форме и газопроницаемость угольного пласта. Таким образом, метанобезопасность зависит от уровня изученности и условий изменения метаморфизма в пласте.

Известно, что геологи по пробам в различных частях пластов определяют степень метаморфизма угля. Однако следует считать, что начало перекрытия торфяника на всей площади его распространения происходило одновременно в короткий период. Для исследования факторов, влияющих на изменение степени метаморфизма угля, рассмотрим две гипотезы, отличающиеся источниками тепловой энергии и механизмом действия горного давления.

В соответствии с распространённой гипотезой нагревание пласта происходило за счёт глубинного тепла Земли на значительной площади всего бассейна или месторождения. Факторами действия на процессы метаморфизма углей считают повышенную температуру и давление в земных недрах. Роль горного давления признаётся в процессах углефикации на стадиях диагенеза и катагенеза до стадии Ж-К-ОС. Э.П. Фельдман предположил, что вмещающие породы передают горное давление и поддерживают однородную температуру пласта. Поэтому угольный пласт следует описывать термодинамическим потенциалом Гиббса [10]. Однако, как действуют тепло и давление земных недр на метаморфизм и какие физико-химические процессы происходят в пласте, неизвестно.

Гипотеза авторов основана на постулатах и аксиомах квантовой физики, основными из которых являются следующие. Во-первых, все физико-химические процессы происходили и происходят в настоящее время за счёт внутренней энергии атомов химических веществ угольного пласта, которые могут поглощать и испускать электромагнитные тепловые волны [11]. Во-вторых, атомы химических веществ имеют свойство при увеличении физической нагрузки увеличивать испускаемую тепловую энергию.

Рассмотрим на примере гипотезу преобразования метаморфизма при погружении угольного пласта.

На первом этапе Π_0 показан торфяник, который мог образоваться и сохраниться на горизонтальной или слабонаклонной палеоповерхности. После перекрытия водой наносами неорганических пород образовалось геологическое тело, отрезанное от источника солнечной энергии. Положительная тем-

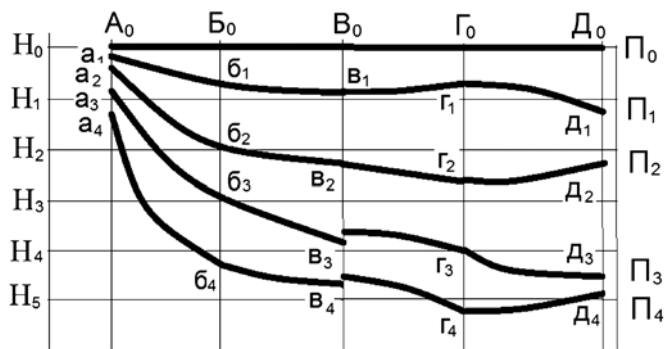


Рис. 1 Схема этапов погружения угольного пласта:

A_0 – D_0 – торфяник на поверхности Земли; H_0 – H_5 – стратиграфическая глубина от поверхности Земли; Π_0 – Π_4 – рассматриваемые периоды опускания угольного пласта

Fig. 1 Schematic diagram of coal bed sinking:

A_0 – D_0 – peat bog is on the day surface; H_0 – H_5 – stratigraphic depth from the day surface; Π_0 – Π_4 – relevant periods of coal bed sinking

пература в пласте поддерживалась распространением внутренней энергии путём излучения электромагнитных волн. Постепенно пласт опускался до уровня Π_1 . Величина горного давления в точках a_1 , b_1 , v_1 , g_1 , d_1 уже не одинакова, так как глубина разная. Естественно, в зависимости от величины давления увеличилась энергия фотонов атомов и, соответственно, температура. В среде органических веществ происходили физико-химические процессы. Дополнительная тепловая энергия выделялась во время экзотермических реакций. Отдельные пласты могли остаться на этой глубине. Этому уровню горного давления соответствуют и стадии метаморфизма угля.

При погружении пласта на уровень Π_2 происходило дальнейшее изменение молекулярной структуры и структурно-механических свойств. Фактор глубины оказывался определяющим, так как он регулировал по площади залегания пласта увеличение температуры. При погружении на уровни Π_3 и Π_4 происходили геотектонические нарушения пласта. Можно видеть, что в пласте есть участки с различным углом падения, синклинали и антиклинали. Этот пласт сохраняет те стадии метаморфизма, которые зафиксированы достигнутой глубиной. Характеристика метаморфизма зависит и от исходного растительного материала. В соответствии с правилом Хильта (1873 г.) степень метаморфизма будет одинакова только при одном и том же составе, т.е. генезисе торфяника.

Природную метаноносность угля связывают с величиной выхода летучих веществ и степенью метаморфизма. Такая зависимость выявлена только на первых этапах метаморфизма в марках угля Г-ГЖ-Ж-К. А в наиболее метаморфизованных марках угля Т (тощий) и А (антрацит) наблюдаются следы метана или он отсутствует. По поводу метаноносности имеются и такие соображения: газоносность (метаноносность) пласта зависит от его сорбционной ёмкости, газопроницаемости и давления газа [12].

Метаноносность в большей степени зависит от генезиса материала, что проявляется в различии массовой концентрации фюзена, витрена, содержания полублестящих и блестящих фракций. Например, на шахтах АО «СУЭК» уголь марки Г содержит меньше 50% витринита, а марки Ж – до 95%. Много фюзена в слабоспекающемся ОС угле, а антрацит имеет плотное сложение и высокую плотность – до 1,7 т/м³. Коксующиеся угли имеют плотность 1,2–1,25 т/м³. Разность в плотности этих марок угля – это и есть пористость, так как органиче-

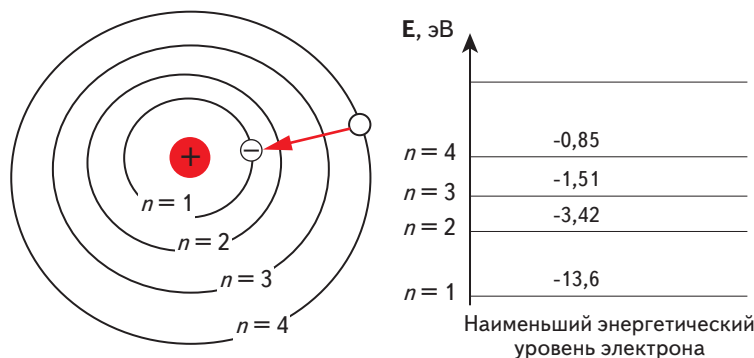


Рис. 2 Электронное строение атома водорода:

n – энергетические уровни электрона; E – энергия энергетического уровня электрона, эВ

Fig. 2 Electronic structure of hydrogen atom:

n – electron energy levels; E – energy of the electron energy level, eV

ская часть состоит из одинаковых молекул [13]. Эта разность образуется в результате регионального различия органики и фациальных условий восстановленности торфяника.

Метан в угольном пласте

Известны различные гипотезы форм нахождения метана в порах угольного пласта. В соответствии с квантовой теорией метан образуется в результате отделения атомов углерода C и водорода H от макромолекул после поглощения фотонов энергии. Электроны этих атомов находятся на возбужденном уровне $n = 4$ (рис. 2).

После соединения атомов углерода и водорода в молекулу метана CH_4 происходит испускание атомами фотонов энергии, и они перескакивают на наименьший энергетический уровень $n = 1$. В результате давление метана в массиве пласта снижается. Плотность газа повышается. Молярный объём уменьшается и приближается к жидкому состоянию, объём при котором равен $99 \text{ см}^3/\text{моль}$. После выделения в выработку молярный объём метана становится равным $22470 \text{ см}^3/\text{моль}$. Для активизации выхода из пласта необходимо повышать внутреннюю энергию атомов метана.

Внезапные выбросы метана

Для внезапного выброса необходимы два фактора. Первый фактор – это генетическая особенность исходного органического материала, характеризующаяся высокой природной метаноносностью и большим содержанием алифатических групп в макромолекулах угля [14]. Второй фактор – это проявление локального аномального горного давления.

При увеличении горного давления на макромолекулы и атомы угля резко возрастает энергия испускаемых ими фотонов. Реакции распространяются со скоростью света. Происходит дополнительное образование молекул метана в свободной форме. Электроны атомов находятся в возбужденном состоянии на верхнем энергетическом уровне. Увеличивается давление метана в порах, происходит разрушение надмолекулярной структуры угля, а затем и выброс метана с пылью (бешеной мукой) в выработку.

Дегазация пласта с позиции квантовой физики

Дегазация применяется для того, чтобы как можно больше удалить метана из массива пласта. В настоящее время для отсоса метана бурят по пласту передовые скважины или

вымывают полости. Эффективность этих способов зависит от количества и расстояния между скважинами.

Для повышения эффективности дегазации необходимо повысить давление метана в порах пласта. В соответствии с аксиомами квантовой физики в результате испускания электромагнитных излучений между молекулами угля и метана поддерживается соответствующая температура и давление метана. При искусственном облучении электромагнитными волнами необходимой частоты происходит их поглощение молекулами угля и атомами метана. В зависимости от энергии фотонов можно регулировать повышение давления метана или воздействовать на макромолекулы угля с целью разрушения бахромы макромолекул угля и увеличения концентрации метана. Второй способ предпочтительнее в зонах, опасных по внезапным выбросам метана, для уменьшения остаточного мате-

риала и образования метана. В настоящее время исследуют способы воздействия на пласт гидродинамическим ударом, ультразвуком, но энергия образующихся волн недостаточная для эффективной дегазации.

В результате расчётов получены следующие зависимости. Повышение температуры T (К) в результате поглощения 1 молекул метана суммарной энергии E (Дж/моль) от внешнего источника можно определить по формуле

$$T = 0,08022 \cdot E,$$

а повышение кинетической энергии и давление ρ (Па) метана в порах –

$$\rho = 8,3104 \cdot \frac{T}{V},$$

где V – объём пор в угле, в котором находится метан массой в 1 моль, м^3 .

Инициирование и взрыв метана и угольной пыли

В шахтной атмосфере молекулы метана и дисперсные фракции угольной пыли находятся в распределённом состоянии. В одном кубическом сантиметре воздуха находится около $2,65 \cdot 10^{19}$ молекул кислорода (20%) и азота (~ 80%). Расстояние между молекулами метана и частицами пыли обратно пропорционально их концентрации, т.е. они находятся в окружении молекул кислорода и азота. Чтобы «горели» метан и угольная пыль, а затем произошёл взрыв с большой скоростью распространения, нужно разделить метан и пыль на химические горючие элементы. По молекулярно-кинетической теории (МКТ) нужна тепловая энергия для эндотермических реакций.

Для разделения метана и угольной пыли на атомы необходимы фотоны определённой энергии. В настоящее время в результате измерения методами ИК-спектроскопии установлено, что для разрыва электромагнитных связей между атомами $H-O$, $C-O$, $C-H$ и $C-C$ соответственно на 1 атом необходима энергия 4,8, 3,74, 4,28 и 3,61 эВ. Таким образом, подтверждена не только электромагнитная связь между молекулами, но и возможность влияния на эту связь электромагнитным излучением.

Разделение метана инициирует внешний источник. По виду образования энергии источники различают на тепловые (искра, пламя, нагревание), механические (удар, трение, вибрация), электрические (искровой разряд, электрическая ду-

га, молния, облучение электронным пучком) и химические (реакции с выделением тепла). Общим для всех источников является то, что энергию они отдают испусканием электромагнитных излучений.

Например, в тепловых источниках происходят экзотермические реакции с объединением атомов горючих веществ и испусканием электромагнитных волн (фотонов). В механических источниках происходит физическое сжатие электронных орбиталей и испускание фотонов энергии. Воспламенение означает, что энергия и частота электромагнитных излучений находятся в видимом диапазоне. Электрические источники представляют собой пучки электромагнитных излучений с частотой видимого диапазона в воздушной среде. Общим для всех источников является испускание высокочастотных фотонов в окружающую среду.

Если в воздушной среде отсутствуют горючие вещества, то в результате поглощения и испускания электромагнитных излучений происходит увеличение кинетической энергии кислорода и азота. Увеличивается их скорость движения, электроны перескакивают на высокий энергетический уровень. Увеличивается объём, занимаемый атомом, температура и давление воздуха в зоне действия источника энергии. С увеличением расстояния от источника его влияние снижается.

При концентрации инертной пыли и воды в шахтной атмосфере электромагнитные волны, испускаемые атомами

источника и горючими веществами, поглощаются или рассеиваются.

Выводы

Представленные результаты имеют научное и практическое значение. Впервые обосновано, что движущей силой всех физико-химических процессов в молекулярной структуре угольного пласта является внутренняя тепловая энергия атомов. Формирование молекулярной структуры обосновано и подтверждено экспериментальными данными многих российских и зарубежных учёных. Применение физических закономерностей квантовой теории показывает, что процессы метаморфизма в угольном пласте происходили в результате повышения тепловой энергии, испускаемой атомами угольного вещества. Роль влияния горного давления на процессы метаморфизма подтверждается многими учёными. Научное значение применения квантовой теории заключается в объяснении всех физико-химических процессов особенностями электромагнитных свойств всех атомов при взаимодействии в угольных пластах. Метаморфизм, метаноносность, форма нахождения метана и реализация внезапных выбросов метана являются результатом взаимодействия атомов генетической структуры органического вещества угольных пластов. Практическая ценность заключается в разработке новых способов предварительной дегазации метаноносных угольных пластов.

Список литературы

1. Карауш С.А. *Теория горения и взрыва*. М.: Академия; 2013. 208 с.
2. Лопанов А.Н. *Физико-химические основы теории горения и взрыва*. Белгород: Изд-во БГТУ; 2012. 149 с.
3. Колесниченко И.Е., Артемьев В.Б., Колесниченко Е.А., Черечукин В.Г., Любомищенко Е.И. Теория электронно-волновой физики угольных пластов. *Горная промышленность*. 2018;(5):86–89. DOI: 10.30686/1609-9192-2018-5-141-86-89.
4. Колесниченко И.Е., Артемьев В.Б., Колесниченко Е.А. Новая теория внезапных выбросов метана из угольных пластов. *Горная промышленность*. 2018;(4):59–60. DOI: 10.30686/1609-9192-2018-4-140-59-60.
5. Залесский М.Д. *Очерк по вопросу образования угля*. Петроград: Геол. ком.; 1914. 94 с.
6. Вальц И.Э. Первичные и диагенетические изменения микроструктуры растительного материала на торфяной и буроугольной стадиях. В: Иванов Г.А., Погребитский Е.О. (ред.) *Вопросы метаморфизма углей и эпигенеза вмещающих пород*. Л.: Наука; 1968. С. 15–25.
7. Жемчужников Ю.А. *Общая геология каустобиолитов*. Л.; М.: Главная ред. геологоразведочной и геодезической литературы; 1935. 548 с.
8. Иванов Г.А. *Угленосные формации (Закономерности строения, образования, изменения и генетическая классификация)*. Л.: Наука; 1967. 407 с.
9. Шукин Е.Д., Перцов А.В., Амелина Е.А. *Коллоидная химия*. М.: Изд-во Моск. ун-та; 1982. 348 с.
10. Фельдман Э.П., Василенко Т.А., Калугина Н.А. Физическая кинетика системы угольный пласт – метан: массоперенос, предвыбросные явления. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2014;(3):46–65.
11. Матвеев А.Н. *Молекулярная физика*. СПб.: Лань; 2010. 368 с.
12. Склярлов Л.А., Кривицкая Р.М., Струковская Т.В. Определение метаноносности угольных пластов расчетным методом. *Уголь Украины*. 1982;(7):37–38.
13. Рашевский В.В., Артемьев В.Б., Силютин С.А. *Качество углей ОАО «СУЭК»*. М.: Кучково поле; 2011. 576 с.
14. Garcia T.J., Cantalapiedra F.J., Llamas B.J. On the Combustion Mechanism of Coal Dust in the Presence of Firedamp. *Combustion and Flame*. 1991;87(3-4):371–374.

References

1. Karaush S.A. *Theory Combustion and Explosion*. Moscow: Akademiya; 2013. (In Russ.)
2. Lopanov A.N. *Physical and Chemical fundamentals of Combustion and Explosion Theory*. Belgorod: Belgorod State Technological University; 2012. (In Russ.)
3. Kolesnichenko I.E., Artemiev V.B., Kolesnichenko E.A., Cherechukin V.G., Lyubomishchenko E.I. Theory of coal-bed electron-wave physics. *Russian Mining Industry*. 2018;(5):86–89. (In Russ.) DOI: 10.30686/1609-9192-2018-5-141-86-89.
4. Kolesnichenko I.E., Artemiev V.B., Kolesnichenko E.A. A New theory of sudden outbursts of coalbed methane. *Russian Mining Industry*. 2018;(4):59–60. (In Russ.) DOI: 10.30686/1609-9192-2018-4-140-59-60.
5. Zalesskiy M.D. *An Essay on Coal Formation Issues*. Petrograd: Geologicheskaya kompaniya; 1914. (In Russ.)
6. Valts I.E. Primary and Diagenetic Changes in Microtexture of Plant Material during Peat and Brown Coal Stages. In: Ivanov G. A., Pogrebitskiy E. O. (eds) *Issues of Coal Metamorphism and Epigenesis of Surrounding Rocks*. Leningrad: Nauka; 1968, pp. 15–25. (In Russ.)

7. Zhemchuzhnikov Yu.A. *General Geology of Caustobioliths*. Leningrad; Moscow: Glavnaya redaktsiya geologorazvedochnoy i geodezicheskoy literatury; 1935. (In Russ.)
8. Ivanov G.A. *Coal-Bearing Formations (Morphology, Formations, Alterations and Genetic Classification)*. Leningrad: Nauka; 1967. (In Russ.)
9. Shchukin E.D., Pertsov A.V., Amelina E.A. *Colloidal Chemistry*. Moscow: Moscow State University; 1982. (In Russ.)
10. Fel'dman E.P., Vasilenko T.A., Kalugina N.A. Physical kinetics of coal-methane system: Mass transfer, pre-outburst events. *Journal of Mining Science*. 2014;50(3):448–464. DOI: 10.1134/S1062739114030077.
11. Matveev A.N. *Molecular Physics*. St. Petersburg: Lan; 2010. (In Russ.)
12. Sklyarov L.A., Krivitskaya R.M., Strukovskaya T.V. Evaluation of Methane Content in Coal Beds with Computational Method. *Ugol Ukrainy*. 1982;(7):37–38.
13. Rashevskiy V.V., Artemiev V.B., Silyutin S.A. *Coal Quality at JSC 'SUEK'*. Moscow: Kuchkovo pole; 2011. (In Russ.)
14. Garcia T.J., Cantalapiedra F.J., Llamas B.J. On the Combustion Mechanism of Coal Dust in the Presence of Firedamp. *Combustion and Flame*. 1991;87(3-4):371–374.

Информация об авторах

Колесниченко Игорь Евгеньевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой проектирования и строительства автомобильных дорог, заместитель директора автодорожного института, Шахтинский автодорожный институт (филиал) Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М.И. Платова, г. Шахты, Российская Федерация; e-mail: kolesnichenko-igor@rambler.ru

Артемьев Владимир Борисович – доктор технических наук, заместитель генерального директора – директор по производственным операциям, Акционерное общество «Сибирская угольная энергетическая компания» (АО «СУЭК»), г. Москва, Российская Федерация; e-mail: pr_artem@suek.ru

Колесниченко Евгений Александрович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры проектирования и строительства автомобильных дорог, Шахтинский институт (филиал) Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М.И. Платова, г. Шахты, Российская Федерация; e-mail: kolesnichenko-2718@rambler.ru

Любимищенко Екатерина Игоревна – кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования и строительства автомобильных дорог, Шахтинский институт (филиал) Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М.И. Платова, г. Шахты, Российская Федерация; e-mail: katya87lk@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 27.05.2019
 Одобрена рецензентами: 19.06.2019, 12.07.2019
 Принята к публикации: 21.07.2019

Information about the authors

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

Vladimir B. Artemiev – Doctor of Engineering, Deputy General Director – Director on Production Activities, Joint Stock Company “Siberian Coal Energy Company” (JSC SUEK), Moscow, Russian Federation; e-mail: pr_artem@suek.ru

Evgeniy A. Kolesnichenko – Doctor of Engineering, Full Professor, Professor at the Department of Motor Road Design and Construction, Shakhty Road Institute (branch) of the Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Shakhty, Russian Federation; e-mail: kolesnichenko-2718@rambler.ru

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

Article info

Received: 27.05.2019
 Reviewed: 19.06.2019, 12.07.2019
 Accepted: 21.07.2019