

Закономерности возгорания метана и угольной пыли от электрического источника в горных выработках

И.Е. Колесниченко, Е.А. Колесниченко✉, Е.И. Любомищенко, Е.И. Колесниченко, А.А. Евсюкова
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова,
г. Шахты, Российская Федерация
✉ kolesnichenko-2718@rambler.ru

Резюме: Наибольшую опасность в подземных выработках, оборудованных высоковольтной электрической сетью, представляют пожары и взрывы. В статье приведены данные о взрывах горючей смеси метана и угольной пыли в шахтах России. Показано, что всегда существует высокий риск возгорания от нарушения электрической сети. Целью работы является определить вид и параметры образующейся в местах разрыва электрических проводников тепловой энергии электрической дуги, искры или открытого огня, инициирующих возгорание горючей среды. Установлено, что известные ионная и тепловая теории зажигания не соответствуют современным представлениям. Методика заключалась в исследовании закономерностей образования и переноса электрического заряда до места разрушения сети. Приведены закономерности энергетических процессов в атомно-молекулярной структуре материала проводников. Впервые обоснована концепция трансформации электромагнитной энергии, получаемой в генераторе переменного тока, в пакет-фотоны высокочастотной энергии. Электрон атома проводника поглощает квант генерируемой энергии, преобразует генерируемую частоту в высокочастотный пакет-фотон и излучает его в электрическую сеть. Установлено, что электрическая дуга, искра, как источники возгорания горючей среды, представляют собой электромагнитные излучения энергии в видимом диапазоне.

Ключевые слова: взрывы метана, угольная пыль, источник возгорания, электрическая искра, квантовая теория, электрон, излучение энергии, электромагнитная энергия, электрическая сеть, переменный ток

Для цитирования: Колесниченко И.Е., Колесниченко Е.А., Любомищенко Е.И., Колесниченко Е.И., Евсюкова А.А. Закономерности возгорания метана и угольной пыли от электрического источника в горных выработках. *Горная промышленность*. 2021;(4):119–124. DOI 10.30686/1609-9192-2021-4-119-124.

Regularities of Methane and Coal Dust Ignition Caused by Electric Sources in Mine Workings

I.E. Kolesnichenko, E.A. Kolesnichenko ✉, E.I. Lyubomishchenko, E.I. Kolesnichenko, A.A. Evsyukova
Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Shakhty, Russian Federation
✉ kolesnichenko-2718@rambler.ru

Abstract: Fires and explosions pose the greatest threat in underground mines that use high-voltage electrical grids. The paper presents data on explosions of combustible methane and coal dust mixtures in Russian mines. It is shown that there always exists a high risk of fire resulting from a malfunction in the electrical grid. The research aims at determining the type and parameters of an electric arc, spark or open flame generated at the breaking points of electric conductors which initiate the ignition of a combustible medium. It was found that the commonly known ionic and thermal theories of ignition do not match the present state of knowledge. The methodology consisted in investigating patterns of electric charge generation and transfer up to the point of the mains failure. Regularities of energy processes in the atomic and molecular structure of the conductor material are presented. For the first time ever the concept of transformation of the electromagnetic energy generated in the alternator into photon packets of high-frequency energy is justified. An electron of the conductor atom absorbs a quantum of the generated energy, converts the generated frequency into a high-frequency photon packet and radiates it into the electric grid. It has been found that an electric arc or a spark, acting as a source of ignition for a combustible medium, is an electromagnetic emission of energy in the visible range.

Keywords: methane explosions, coal dust, ignition source, electric spark, quantum theory, electron, energy radiation, electromagnetic energy, electric grid, alternating current

For citation: Kolesnichenko I.E., Kolesnichenko E.A., Lyubomishchenko E.I., Kolesnichenko E.I., Evsyukova A.A. Regularities of Methane and Coal Dust Ignition Caused by Electric Sources in Mine Workings. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2021;(4):119–124. (In Russ.) DOI 10.30686/1609-9192-2021-4-119-124.

Введение

Актуальность. Электрическая искра – один из наиболее распространенных источников зажигания горючей среды и возникновения техногенных пожаров и взрывов во всех сферах человеческой деятельности. Горючая среда является потенциально взрывоопасной средой и объективной реальностью на предприятиях всех отраслей. Особую опасность представляют пожары и взрывы горючей среды в стеснённых условиях подземных выработок, где находятся высоковольтные электрические сети, электрооборудование. При выполнении производственных процессов выделяется газ метан, образуется взрывоопасная угольная пыль. Возможно образование горючей среды и существует риск возникновения источников возгорания этой среды. Для предотвращения воспламенения или взрыва горючей среды применяют технические предупредительные и защитные меры, представленные в Межгосударственных стандартах ГОСТ 31438.1–2011 и ГОСТ 31438.2–2011 (от 2013-02-15)¹.

Происходящие на шахтах пожары и взрывы горючей среды показывают, что применяемые меры не всегда эффективны. Крупные аварии со взрывом метана и угольной пыли произошли в 2007 г. на шахтах «Юбилейная» и «Ульяновская». На шахте «Юбилейная» погибли 27 горняков, экономический ущерб составил 167,0 млн руб. На шахте «Ульяновская» при количестве потерь 110 человек экономический ущерб достиг 616 млн руб. Как показали результаты анализа причин, взрыв произошёл от искрящегося электрического кабеля. При этом английская система газовой защиты Davis Derby стоимостью 100 млн руб. от искры не спасла. На шахте «Распадская» в 2010 г. произошло два взрыва. Первый взрыв был инициирован неустановленным тепловым источником, а второй, возможно, открытым огнём действующего пожара. В результате погиб 91 человек и более 100 пострадали. Источниками пожара и взрыва бывают и внезапные выбросы метана. Внезапный выброс сопровождается образованием горючей среды и силовым разрушением электрической сети под нагрузкой. В 2016 г. на шахте «Северная» при внезапном выбросе метана образовалась взрывоопасная среда. Последовали два взрыва в этой среде, количество жертв составило 26 человек.

Проблема предотвращения пожаров и взрывов горючей среды актуальна и в настоящее время, так как в нормативном документе² определена высокая вероятность образования горючей среды из-за большого количества влияющих факторов. В ГОСТ 31438.2³ констатируется, что «при добыче угля и угольной пыли, образующих взрывоопасные смеси с воздухом, за счёт применения защитных мер не поддаются полному исключению, поэтому потенциальная опасность взрыва высока». В нормативном документе указывается⁴, «что потенциальная опасность возникает при появлении активного источника воспламенения».

¹ ГОСТ 31438.1–2011 (EN 1127 – 1:2007) Межгосударственный стандарт Взрывоопасные среды. Взрывозащита и предотвращение взрыва. Часть 1. Основопологающая концепция и методология. МКС 13.230. Дата введения 2013-02-15; ГОСТ 31438.2–2011 (EN 1127 – 2:2002) Межгосударственный стандарт. Взрывоопасные среды. Взрывозащита и предотвращение взрыва. Часть 2. Основопологающая концепция и методология (для подземных выработок). МКС 13.230. Дата введения 2013-02-15.

² ГОСТ 31438.1–2011 (EN 1127 – 1:2007) Межгосударственный стандарт Взрывоопасные среды. Взрывозащита и предотвращение взрыва. Часть 1. Основопологающая концепция и методология. МКС 13.230. Дата введения 2013-02-15.

³ ГОСТ 31438.2–2011 (EN 1127 – 2:2002) Межгосударственный стандарт. Взрывоопасные среды. Взрывозащита и предотвращение взрыва. Часть 2. Основопологающая концепция и методология (для подземных выработок). МКС 13.230. Дата введения 2013-02-15.

⁴ ГОСТ 31438.1–2011 (EN 1127 – 1:2007) Межгосударственный стандарт Взрывоопасные среды. Взрывозащита и предотвращение взрыва. Часть 1. Основопологающая концепция и методология. МКС 13.230. Дата введения 2013-02-15.

Теоретические основы горения и взрыва горючей среды были опубликованы в трудах акад. Н.Н. Семёнова [1], Б. Льюиса и Г. Эльбе [2] и Я.Б. Зельдовича и др. [3]. Акад. Н.Н. Семёнов сделал два основополагающих вывода для газообразных горючих веществ. Во-первых, воспламенение газов происходит при достижении взрывоопасных пределов концентрации газов. Во-вторых, тепловой импульс передаётся в виде излучения ещё не горящим слоям. Эти результаты послужили обоснованием для разработки способов снижения опасных концентраций горючих газов. Современные исследования носят в основном экспериментальный характер и виртуальное математическое моделирование. Исследования продолжаются в области молекулярной энергетики химических процессов и установления термодинамических параметров при горении и взрыве горючих веществ.

Авторы работы считают, что для решения научных и практических задач необходим новый научный подход к энергетическим процессам в горючей среде. Исследователи в основном описывают результаты химических реакций для условий, которые на практике установить невозможно. Необходимо установить вид энергии источника и его способность инициировать разделение молекул чтобы выделить горючие элементы водорода и углерода, которые и инициируют так называемые реакции горения и взрыва. Одним из распространённых источников энергии для этих реакций является электрическая искра или электрическая дуга, проявляющиеся в открытом огне.

При современном уровне знаний невозможно заранее прогнозировать место возникновения нарушения электрической сети. Известно, что при размыкании электрических цепей под нагрузкой, при пробое изоляции или при плохих контактах в местах соединения возникает электрический разряд, сопровождаемый свечением и высокой температурой. На практике электрическую дугу используют для сварки металлов. Эта искра является продолжением электрического тока в воздушном пространстве. Ещё одним неизученным вопросом является практическая разница между промышленной частотой переменного электрического тока 50 Гц, получаемого в генераторах, и световым излучением огня в месте разрыва электрического кабеля, частота излучения которого по законам физики находится в видимом человеку диапазоне от $7,50 \cdot 10^{14}$ до $3,85 \cdot 10^{14}$ Гц.

Целью работы является на основе исследования энергетических характеристик индуцирования и передачи электрической энергии в токоведущих проводниках определить вид и параметры образующейся в местах разрыва электрических проводников тепловой энергии электрической дуги, искры или открытого огня, инициирующих возгорание горючей среды.

Методика включала исследования закономерностей физической концепции генерации с промышленной частотой электромагнитной индукции в проводнике, квантово-энергетических закономерностей переноса энергии в электрическом проводнике и определение вида энергии, воздействующей в месте разрыва проводника на горючую среду.

Объектом исследования принят возникающий источник зажигания горючей среды в виде искры, который образуется в результате разрыва токоведущих проводников под напряжением. Такие источники в виде электрической дуги и открытого огня образуются из-за разрушения электрического кабеля или разъединения контактов в электрооборудовании. При этом рассматриваются силовые электрические линии с переменным напряжением.

Теоретическая основа зажигания горючих веществ

Описания возгорания горючей среды от электрического источника отмечены в публикациях [3–6]. В монографии Я.Б. Зельдовича и др. «Математическая теория горения» [3] о процессе зажигания электрическим током было сделано заключение, что «Механизм этого процесса очень сложен, так как сам электрический разряд в газовом пространстве – сложное физическое явление». Объяснение сделано с позиции молекулярно-кинетической теории (МКТ): «в зоне разряда возникает очень интенсивное возбуждение молекул газа и их ионизация». Авторы предполагали, что в объёме канала проскока электрической искры температура газа возрастает мгновенно до нескольких тысяч (и даже десятков тысяч) градусов. Для понимания механизма зажигания электрической искрой были предложены две концепции: ионная и тепловая теории зажигания. По ионной теории рассматриваются химические превращения в пламени. Возбуждённые молекулы газа (атомы, радикалы), диффундируя в горючую смесь, инициируют цепную реакцию окисления. В этих положениях много неясного. Во-первых, что собой представляет электрический разряд и что такое возбуждение молекул и их ионизация. Неизвестен состав газа горючей среды. При этом способность искры к зажиганию должна быть пропорциональна квадрату силы тока. Но ток течёт при нормальном состоянии, а какой ток при разрыве цепи или раздавливании электрического кабеля? В МКТ под ионизацией понимают процесс, при котором атом увеличивает свою внутреннюю энергию и происходит освобождение ядра от электрона под действием критической энергии. Неизвестен механизм воздействия на электрон критической энергии.

Авторы статьи считают, что в виртуальной математической модели не были раскрыты физические процессы в источнике воспламенения. Можно считать, что научный уровень изученности процессов возгорания горючих веществ должен составлять основу при формировании компетенций при подготовке специалистов техносферной безопасности. В современном учебнике [5] приводится тепловая теория зажигания Я.Б. Зельдовича [3] в математическом представлении физических процессов. С помощью электрической искры газовая смесь может локально нагреваться до температуры порядка 10^5 К – 10^6 К. При малой энергии электрической искры тепло быстро рассеивается. Непонятно, что подразумевается под нагревом и горением газовой смеси, что является источником такой температуры. В работе Зеленкина В.Г. и др. [6] подтверждается теоретический тезис В.А. Девисилова о местном возбуждении молекул газа в области искры и делается вывод, что в этой области меняются критические условия. Предполагается, что искра – это накалённое газообразное тело. Не раскрыто образование и отличие друг от друга влияющих на зажигание горючей смеси приведённых понятий и параметров: температуры искры, давления смеси, плотности теплового потока, энергии искры, времени существования искры.

Обзор публикаций [3; 5; 6] показал, что изучение и распространение знаний о возгорании от электрической искры на уровне эмпирических представлений не позволяет адекватно исследовать последующие физические процессы горения и взрыва в горючей среде. Чтобы понять вид энергии электрической искры, необходимо рассмотреть энергетические характеристики источника и средства доставки этой энергии до места образования искры.

Электромагнитные свойства электронов

В соответствии с принципом Паули (1925) все атомы имеют электронную структуру. Распределение электронов вокруг ядра подчиняется строго определённым энергетическим уровням и подуровням. В атоме на одной орбитали может находиться не более двух электронов, имеющих противоположно направленные спины. Энергия связи электронов с ядром зависит от расстояния энергетического уровня и с увеличением расстояния уменьшается. В квантовой теории, как и в разделе электричество, единицей энергии принята энергия заряда электрона [4]. Величина этого заряда была непосредственно измерена в экспериментах Р. Милликена в 1911 г. и А.Ф. Иоффе в 1913 г. Электрон, как всякий электрический заряд, обладает волновой формой энергии и электромагнитными свойствами.

Поглощение электромагнитных излучений энергии от внешних источников и излучение этой энергии в окружающее пространство является основным свойством электрона [7]. Единицей электромагнитной энергии принят фотон, равный произведению постоянной Планка $h = 6,626176 \cdot 10^{-34}$ (Дж · с) на частоту излучения ν (1/с или Гц): $E = h \cdot \nu$, Дж. Так как 1 Дж равен $6,24146 \cdot 10^{18}$ эВ, то энергия фотона $E = 4,1357 \cdot 10^{-15} \cdot \nu$, эВ. Термин «фотон» введён химиком Гилбертом Льюисом в 1926 году. Фотон состоит из целого количества квантов энергии с частотой волнового излучения в 1 Гц (1/с).

Энергетический процесс электрона атома включает следующие операции. Движущийся по замкнутой орбите электрон эквивалентен круговому току. Его магнитное поле взаимодействует с внешним магнитным полем. Электрон захватывает электромагнитные излучения от внешнего источника, энергия его увеличивается, и он перескакивает дальше от ядра на свободный возбуждённый уровень или подуровень. Скорости обращения электрона на орбитали и распространения фотона энергии одинаковы и равны $2,998 \cdot 10^8$ м/с.

Образование квантов электромагнитной энергии в магнитном поле

Переменный ток является основным видом применяемой электрической энергии. На практике переменный ток характеризуется силой тока и напряжением. Количественная характеристика этих результирующих показателей доказывается расчётами и приборными измерениями. Однако известные теоретические выводы [3], что перенос электрической энергии осуществляется, зажигание горючей смеси происходит при диффундировании в неё раскалённых молекул, а переход химических реакций переходит в пламень, – не соответствуют новым знаниям об энергетических процессах в атомно-молекулярных структурах вещества. Практика показала, что электрический ток в проводнике проявляется тепловой энергией. В основе силы тока принят электрический заряд электрона. Физической константой принято, что 1 Кл (кулон) соответствует заряду приблизительно $6,24 \cdot 10^{18}$ электронов. Этот заряд связан с напряжением (вольт). Один электрон-вольт равен $1\text{эВ} = 1,6021892 \cdot 10^{-19}$ Дж (джоулей). Так как в основе характеристики электрической энергии приняты энергетические параметры электронов атомов проводников, физические процессы генерации переменного тока в проводниках необходимо рассматривать с позиций квантовой теории энергетических процессов в атомно-молекулярной структуре [4; 7].

Переменное синусоидальное напряжение получают при помощи генераторов, преобразующих механическую энер-

гию в электрическую. Принцип работы такого генератора можно рассмотреть на примере вращения прямоугольной рамки из токопроводящего материала в однородном магнитном поле (рис. 1). В соответствии с законом электромагнитной индукции при пересечении магнитного потока Φ в проводниках рамки индуцируется напряжение [4]. Авторы полагают, что во время вращения рамки в проводнике формируются кванты электромагнитной энергии, которые являются внешними для атомов проводника и улавливаются электронами этих атомов.

При вращении рамки в магнитном поле по часовой стрелке в проводнике рамки индуцируется квант электромагнитной энергии. Величина энергии этого кванта формируется за один период обращения рамки. Индуцируемые мгновенные значения ЭДС в проводниках показаны на графике в виде синусоиды (рис. 1, б). Максимальная амплитуда ЭДС индукции будет в момент нахождения проводников в точках 3 и 7. Эта энергия поглощается электронами атомов проводника и в замкнутой цепи возникает ток энергии. За время одного периода в рамке по правилу правой руки происходит изменение направления тока.



Рис. 1
 Схема образования квантов электромагнитной энергии и напряжённости магнитного поля в проводнике рамки, вращающейся в магнитном поле, где а) – вращение рамки в магнитном поле; б) – характеристика квантов электромагнитной энергии, передаваемой проводнику за два периода вращения рамки; 1–8 – рассматриваемые точки положения проводников рамки относительно магнитного потока; U – напряжение индукции в проводнике; U_m – максимальная амплитуда напряжения индукции в проводнике рамки в точках 3 и 7; H – напряжённость магнитного поля проводника

Fig. 1
 Schematic diagram of electromagnetic energy quanta generation and the magnetic field intensity in the conductor of a frame rotating in the magnetic field, where а) is the rotation of the frame in the magnetic field; б) is the characteristic of electromagnetic energy quanta transferred to the conductor during 2 periods of the frame rotation; 1–8 are the considered points of the frame conductors position relative to the magnetic flux; U is the induction voltage in the conductor; U_m is the maximum induction voltage amplitude in the frame conductor at points 3 and 7; H – magnetic field intensity of the conductor

На практике для сохранения направления движения тока в сети применяют специальные коллекторы соединения генератора с сетью. На рис. 1, б показаны два кванта ЭДС. Промышленная частота оборотов в генераторах России составляет 50 Гц. За одну секунду индуцируются 50 квантов. Физический принцип электромагнитной индукции обязывает добавить к синусоиде напряжения ЭДС поперечную волну напряжённости H электрического поля в проводниках (см. рис. 1, б). Российские учёные Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшиц в разделе «Теория поля» объясняют представление об электромагнитном поле как о совокупности квантов [8]. В разделе «Квантовая электродинамика» в § 2 «Квантование свободного электромагнитного поля» подтверждают, что рассматривают электромагнитное поле

как квантовый объект [9]. В данном случае это представление об электромагнитном поле как о совокупности квантов подтверждает наши выводы.

Молекулярно-атомная характеристика проводника электрического тока

Кванты электромагнитной индукции ЭДС поглощаются атомами проводника рамки. Наиболее распространёнными в электрических сетях являются медные проводники. Медь – одноатомная молекула. Атомная масса равна 63,546 г/моль. Плотность меди равна 8,96 г/см³. В одном кубическом миллиметре медного проводника находится 0, 849·10²⁰ атомов меди. Электронная формула атома меди в порядке следования уровней: 1s²2s²2p⁶3s²3p⁶3d¹⁰4s¹ (рис. 2). Энергетические уровни 1s2s3s заняты спаренными электронами. Подуровни 2p⁶3p⁶3d¹⁰ также заняты. Есть свалившийся электрон с уровня 4s на подуровень 3d¹⁰. После возвращения электрона на 4s уровни заняты в следующем порядке 1s²2s²2p⁶3s²3p⁶3d⁹4s².

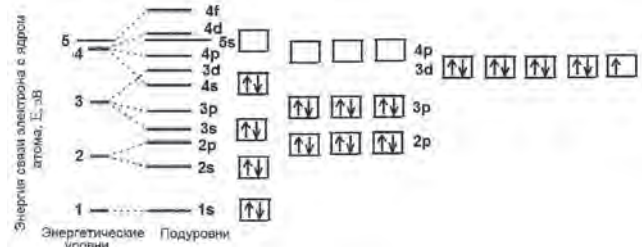


Рис. 2
 Схема энергетических уровней и подуровней атома меди Cu [10]

Fig. 2
 Schematic diagram of the energy levels and sublevels of a Copper atom [10]

В атомах проводника в рамке магнитного поля неспаренные электроны находятся на 9-й орбитали подуровня 3d (см. рис. 2). При вращении рамки неспаренные электроны, имеющие отрицательный потенциал, присоединяют квант энергии электромагнитной индукции и перескакивают на свободную орбиталь подуровня 4p. Эти электроны излучают в сеть поглощённую энергию в том же направлении, что и в рамке. Основными характеристиками электромагнитного излучения в проводниках электрической замкнутой сети с электрооборудованием являются электрический ток и напряжение.

Можно заключить, что электрическая энергия переменного по величине электрического тока распространяется неспаренными электронами проводника, которые поглощают электромагнитную энергию и излучают её в сеть замкнутого контура.

Энергетический механизм излучения энергии электронами в сеть

Гипотеза авторов работы впервые объясняет механизм поглощения кванта индуцируемой электромагнитной энергии (см. рис. 1, а) и передачи этой энергии электронами атомов в сеть. Электрон, как всякий электрический заряд, обладает волновой формой энергии и электромагнитными свойствами. Благодаря этим свойствам он может поглощать и излучать (испускать) фотоны энергии. Частота энергии электрона 2,418·10¹⁴ Гц, а длина электромагнитной волны 1234,8 нм. Электрон не излучает электромагнитных волн, так как не распространяется в пространстве. Концепция механизма испускания поглощённого фотона энергии заключается в следующем. Отрицательно заряженный

электрон поглотил один квант индуцированной энергии и обращается с этой энергией на уровне возбуждённого состояния со скоростью $2,998 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ (рис. 3). При вращении на орбитали электрон разбивает поглощённую энергию этого кванта E на частоту излучения $\nu = E / h$, Гц, где h – постоянная Планка, $h = 6,626176 \cdot 10^{-34}$ (Дж · с). Таким образом, электрон один квант поглощённой энергии разбивает на многочастотный пакет-фотон в соответствии со своей частотой обращения вокруг атома и закономерностями квантовой теории (рис. 3, б).

С частотой 50 Гц электрон испускает сформированный пакет-фотон в электрическую сеть. Таким образом, электрон поглощает индуцируемую энергию с частотой 50 Гц, трансформирует её и излучает пакет в форме фотона с высокочастотной энергией.

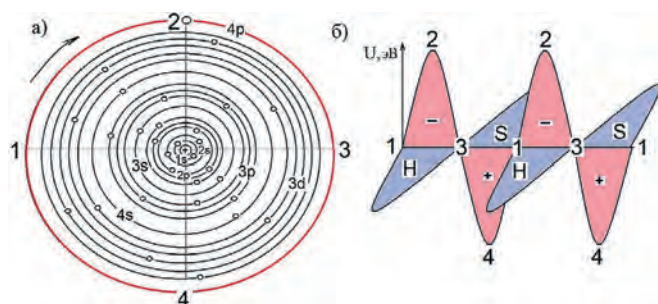


Рис. 3
Схема механизма формирования электронем из квантов поглощенной индуцированной энергии частоты излучаемого пакет-фотона: а) – схема орбиталей, заполненных электронами на стационарных энергетических уровнях; б) – схема двух квантов излучаемой электронем энергии; 1, 2, 3, 4 – точки положения электрона на орбитали 4p; E, S и H – переменные значения излучаемой энергии и магнитной индукции

Fig. 3
Schematic diagram of an electron forming the frequency of the emitted photon packets from quanta of absorbed induced energy: а) schematic diagram of orbitals filled with electrons at stationary energy levels; б) schematic diagram of two quanta of emitted electron energy; 1, 2, 3, 4 are points of electron position in the 4p orbital; E, S and H are variable values of emitted energy and magnetic induction

Энергетическая характеристика искры

В момент разрыва проводника контур сети замыкается через воздушный промежуток. Так как изолирующая оболочка разрушена, то визуально наблюдаются электромагнитные излучения в видимом диапазоне. Энергия таких излучений от 1,6 до 3,1 эВ, а частота излучения от $3,94 \cdot 10^{14}$ до $7,49 \cdot 10^{14}$ Гц. Собственно, визуальное восприятие искры подтверждает высокочастотную характеристику излучения этого вида электромагнитной энергии. Длина волны излучений в этом диапазоне от 0,76 до 0,4 мкм, а температура от 3800 до 7200 К. Естественно, что эти излучения энергии поглощают попавшие в зону излучения электроны атомов горючей среды. Излучаемой энергии в диапазоне видимой частоты достаточно для инициирования эндогенных реакций отделения атомов водорода от углерода в метане (2,14–2,26 эВ/атом). В аэрозольных частицах угольной пыли начнут разрушаться функциональные группы макромолекул. Для отделения атомов в ароматических группах с энергией связи более 2,26 эВ/атом ($C = O$, $C = C$, $C = S$ и др.) требуется энергии больше.

При увеличении расстояния между повреждёнными

проводниками распространение излучения прекращается. На концах поврежденных проводников образуется электродвижущая сила (ЭДС), в проводнике во вращающейся рамке движение тока прекращается, а гармоничные изменения напряжённости магнитного поля продолжаются. При замыкании сети движение электрического тока восстанавливается.

Заключение

Электрическая дуга, искра или открытый огонь, образующиеся в местах разрыва под напряжением электрических проводников, представляют собой фотоны с тепловой энергией от 1,6 до 3,1 эВ, излучаемые в горючую среду электронами проводника в диапазоне видимого спектра от $3,94 \cdot 10^{14}$ до $7,47 \cdot 10^{14}$ Гц. Эти электромагнитные излучения в воздушном промежутке поглощаются и излучаются атомами воздушной среды и горючих веществ.

При этом частота излучения генератором переменного тока этих фотонов в электрическую сеть равна 50 Гц, т.е. промышленной частоте, принятой в России.

Новизна теоретического представления знаний о способе переноса электрической энергии в замкнутой сети заключается в том, что электрические заряды переменного тока в проводниках распространяются не свободными электронами, а в виде электромагнитных излучений валентными электронами атомов проводникового материала. Доказательством служат фактические расчёты. Электрический заряд, протекающий за время t через поперечное сечение проводника, в 1 Кл соответствует заряду приблизительно $6,24 \cdot 10^{18}$ электронов, а в 1 мм³ медного проводника находится $0,849 \cdot 10^{20}$ атомов меди. Трудно представить физический механизм отрыва с орбиталей 7,35% электронов в 1 мм³ проводника только одного ампера, а с увеличением силы количество электронов должно быть больше. Передача электромагнитных излучений происходит в проводнике от атома к атому со скоростью света.

Впервые научно обоснована концепция трёхэтапной трансформации вида энергии при образовании в электрической сети переменного тока. На первом этапе за один полный оборот в каждом проводнике индуцируется один фотон электромагнитной индукции. Эти фотоны поглощаются неспаренными электронами проводников рамки. Электроны, обращаясь на орбитали, преобразуют поглощённую энергию в новый вид – высокочастотные пакет-фотоны энергии, и излучают их в электрическую сеть, но с частотой поглощения фотонов электромагнитной индукции.

Практическая значимость. Частота электромагнитного излучения искры может быть измерена индикаторами или анализаторами уровня электромагнитного излучения (ЭМИ). На практике такие приборы могут применяться для индикации и оповещения о появлении опасных нарушений в сети. Определение мест скрытой проводки измерения фонового электромагнитного излучения вокруг токоведущих проводников под напряжением является доказательством высокочастотного вида электрического тока.

Практическое применение приборов в различных отраслях для измерения электромагнитных излучений является предпосылкой для разработки способов предотвращения возгорания и взрыва горючей среды в горных выработках при разработке угольных месторождений. Применяя волоконно-оптический кабель, можно контролировать фоновые излучения и прогнозировать вероятные места аварий.

Список литературы

1. Семенов Н.Н. Теория горения. *Наука и жизнь*. 1940;(8-9):3–12.
2. Льюис Б., Эльбе Г. *Горение, пламя и взрывы в газах*. М.: Мир; 1968. 592 с.
3. Зельдович Я.Б., Баренблат Г.И., Литрович В.Б., Махвиладзе Г.М. *Математическая теория горения и взрыва*. М.: Наука; 1980. 478 с.
4. Кухлинг Х. *Справочник по физике*. М.: Мир; 1982. 520 с.
5. Андросов А.С., Бегисhev И.Р., Салеев Е.П. *Теория горения и взрыва*. М.: Академия ГПС МЧС России; 2007. 203 с.
6. Зеленкин В.Г., Боровик С.И., Бабкин М.Ю. *Теория горения и взрыва*. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ; 2011. 166 с.
7. 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>
8. Ландау Л.Д., Лифшиц Е. М. *Теоретическая физика*. Т. 2. Теория поля. 8-е изд. М.: Физматлит; 2003. 536 с.
9. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. *Квантовая электродинамика*. В: Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Теоретическая физика*. 4-е изд. М.: Физматлит; 2002. Т. 4. 719 с.
10. Глинка Н.Л.; Ермаков А.И. (ред.) *Общая химия*. 30-е изд. М.: Интеграл-Пресс; 2002. 728 с.

References

1. Semenov N.N. Theory of Combustion. *Nauka i zhizn*. 1940;(8-9):3–12. (In Russ.)
2. Lewis B., Elbe von G. *Combustion, flames and explosions of gases*. New York: Academic Press; 1951. 795 p.
3. Zeldovich Ya.B., Barenblat G.I., Litrovich V.B., Makhviladze G.M. *Mathematical Theory of Combustion and Explosion*. Moscow: Nauka; 1980. 478 p. (In Russ.)
4. Kuchling von H. *Physik*. Leipzig; 1980.
5. Androsov A.S., Begishev I.R., Saleev E.P. *Theory of Combustion and Explosion*. Moscow: Academy of the State Fire Service Emercom of Russia; 2007. 203 p. (In Russ.)
6. Zelenkin V.G., Borovik S.I., Babkin M.Yu. *Theory of Combustion and Explosion*. Chelyabinsk: South Ural State University; 2011. 166 c. (In Russ.)
7. 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>
8. Landau L.D., Lifshits E. M. *Theoretical Physics*. Vol. 2. Field Theory. 8th ed. Moscow: Fizmatlit; 2003. 536 p. (In Russ.)
9. Berestetsky V.B., Lifshits E.M., Pitaevsky L.P. *Quantum Electrodynamics*. In: Landau L.D., Lifshits E. M. *Theoretical Physics*. 4th ed. Moscow: Fizmatlit; 2002. Vol. 4. 719 p. (In Russ.)
10. Glinka N.L.; Ermakov A.I. (ed.) *General Chemistry*. 30th ed. Moscow: Integral-Press; 2002. 728 p. (In Russ.)

Информация об авторах

Колесниченко Игорь Евгеньевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительства и техносферной безопасности, заместитель директора – научный руководитель Шахтинского института, 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 строительства и техносферной безопасности 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

Евсюкова Алина Анатольевна – студент кафедры транспортной безопасности и управления дорожной инфраструктурой Автодорожного института (филиала), Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова; г. Шахты, Российская Федерация; e-mail: alinka_evsyukova@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 20.06.2021

Поступила после рецензирования: 09.07.2021

Принята к публикации: 12.07.2021

Information about the authors

Igor E. Kolesnichenko – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Construction and Technogenic Safety Department, Deputy Director – Academic Advisor at 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 Construction and Technogenic Safety Department of the Shakhty Road Institute (branch), Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Shakhty, Russian Federation; 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; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9495-7385>; 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

Alina A. Evsyukova – Student at the Department of Transport Safety and Road Infrastructure Management of the Shakhty Road Institute (branch), Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Shakhty, Russian Federation; e-mail: alinka_evsyukova@mail.ru

Article info

Received: 20.06.2021

Revised: 09.07.2021

Accepted: 12.07.2021