

## ШАРОВАЯ МОЛНИЯ – МОЩНЫЙ ПРИРОДНЫЙ МОЛЕКУЛЯРНЫЙ НАКОПИТЕЛЬ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА. НОВАЯ ГИПОТЕЗА ПРОИСХОЖДЕНИЯ И ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОГО ФЕНОМЕНА

Баранов М.И., д.т.н., с.н.с.

НИПКИ "Молния" Национального технического университета "Харьковский политехнический институт"

Украина, 61013, Харьков, ул. Шевченко, 47, НИПКИ "Молния" НТУ "ХПИ"

тел. (057) 707-68-41, факс (057) 707-61-33, E-mail: eft@kpi.kharkov.ua

*Запропоновано нову фізико-математичну модель і нову гіпотезу ймовірного походження, утворення й існування в повітряній атмосфері такого природного феномена як кульова блискавка (КБ), що базуються на електричних диполях мікрочастинок (молекул) води і їхній електростатичній взаємодії з негативно зарядженим ядром блискавки. Виконані розрахункові оцінки можливих рівнів напруженості надсильного електричного поля усередині і поза активній сферичній області КБ, а також електричних потенціалів, щільності електричної енергії і абсолютних показників електричної енергії, що запасається КБ.*

*Предложена новая физико-математическая модель и новая гипотеза вероятного происхождения, образования и существования в воздушной атмосфере такого природного феномена как шаровая молния (ШМ), базирующиеся на электрических диполях микрочастиц (молекул) воды и их электростатическом взаимодействии с отрицательно заряженным ядром молнии. Выполнены расчетные оценки возможных уровней напряженности сверхсильного электрического поля внутри и вне активной сферической области ШМ, а также электрических потенциалов, плотностей и абсолютных показателей электрической энергии, запасаемой ШМ.*

### ВВЕДЕНИЕ

В последние годы во всем мире вопросам изучения таких природных электрофизических феноменов как линейная молния (ЛМ) и шаровая молния (ШМ) уделяется повышенное внимание со стороны не только научно-технических специалистов (электрофизиков, метеорологов, электроэнергетиков), но и бизнесменов-практиков, стремящихся для дальнейшего отечественного научно-технического прогресса и своего финансового роста инвестировать денежные средства в новые высокие электротехнологии, открывающие новые энергоресурсные горизонты и производственные возможности для человечества [1-3]. Несмотря на многочисленный ряд разработок гипотетического характера явления ШМ [1], регулярно наблюдаемой в земной атмосфере (особенно в период фронтальных гроз или ЛМ в воздушной атмосфере), оно изучено как в экспериментальном, так и в теоретическом плане крайне слабо. Начнем с того, что существующие теоретические модели ШМ не могут назвать и научно объяснить причины, приводящие к ее образованию. Эти модели не раскрывают возможные физические механизмы формирования подобного природного электрофизического явления. Они не в состоянии обосновать ее внешний вид, внутреннюю структуру, перемещение в воздушной атмосфере и внутри технических сооружений, притяжение к проводящим предметам и металлоконструкциям, существенный нагрев ею токопроводящих тел, возникающие при появлении ШМ световые эффекты, звуковые колебания (шипение и потрескивание) и сопровождающие ее протекание характерные запахи (озона, горящей серы). Они не могут объяснить кратковременность ее существования в атмосфере (от секунд до минут) и дать оценки энергетическим характеристикам этого явления.

Все известные на сегодня теории ШМ подразделяются на два больших класса [1, 2]: *первый* – осно-

ванный на том, что источник энергии этого явления находится внутри ШМ (молния с внутренним источником энергии); *второй* – базируется на том, что источник энергии этого природного феномена находится вне ШМ (молния с внешним источником энергии). Первый класс признанных научной общественностью теоретических моделей ШМ содержит шесть основных подклассов, построенных на: а) локальном горении в воздушной атмосфере газов с необычными свойствами; б) локальном горении воздуха атмосферного давления; в) плазме высокой плотности; г) замкнутых кольцевых токах, нагревающих воздух; д) воздушных вихрях со светящимися газами; ж) собственном электромагнитном поле микроволнового излучения. Второй класс известных теоретических моделей ШМ содержит три основных подкласса, построенных на: з) внешнем высокочастотном электромагнитном поле; и) протекании через локальный сферический объем молнии внешней постоянной составляющей тока ЛМ, направленной от грозового облака к земле; к) внешних сфокусированных космических излучениях (частицах). В бывшем СССР определенное развитие получила теория ШМ, основанная на сфокусированном высокочастотном электромагнитном поле от грозового облака, создающем и поддерживающем природную ШМ (подкласс "з", автор разработки – советский академик и выдающийся физик XX столетия Капица П.Л. [4, 5]). Добавим к этому то, что как раньше, так и сейчас в атмосферных облаках исследователями грозных разрядов не были обнаружены ни электрические, ни магнитные поля такой высокой интенсивности и частоты, которые были бы способны за счет своего излучения вызывать и поддерживать вдали от этих облаков рассматриваемое нами высокоэнергетическое электрофизическое явление, именуемое в физике атмосферного электричества как ШМ.

Своей загадочностью, таинственностью и физи-

ческим величием феномен ШМ притягивает и манит вот уже многие годы и даже не одно столетие пытливые человеческие умы к своему изучению, своей разгадке и возможному практическому применению в прямой (например, для аккумуляирования и дальнейшего технологического использования атмосферного электричества) или косвенной (например, для использования в технике высоких плотностей энергии и практической электротехнике физических механизмов образования, протекания и сравнительно длительного самоподдержания в атмосферном воздухе высокоэнергетического явления ШМ) форме.

Целью данной статьи является разработка новой приближенной физико-математической модели ШМ и расчетная оценка на ее основе возможных силовых электрических и энергетических характеристик исследуемого вида молнии, а также описание новой гипотезы вероятного происхождения, образования и существования в воздушной земной атмосфере такого природного электрофизического явления как ШМ.

### 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ ОБРАЗОВАНИЯ И ПРОТЕКАНИЯ В ВОЗДУШНОЙ АТМОСФЕРЕ ШМ

Рассмотрим некоторую локальную область воздушной атмосферы, содержащую взвешенные в воздухе при нормальных условиях (температура среды равна  $T_0=0$  °C; давление воздушной среды составляет  $p_0=101,325$  кПа [6]) мелкодисперсные частицы воды и для которой характерно активное влияние электрофизических процессов, сопровождающих ЛМ (например, протекание больших импульсных токов, образование сильноточных плазменных каналов, возникновение сильных электрических и магнитных полей), протекающую вблизи исследуемой области. Пусть присутствующие в рассматриваемой области микрочастицы и молекулы воды имеют геометрическую форму, близкую к сферам, и являются изотропным полярным диэлектриком, молекулы которого имеют связанные электроны, расположенные несимметрично относительно своих атомных ядер [1, 6]. Предполагаем, что в результате теплового движения в воздушной атмосфере молекул воды векторы их собственных дипольных электрических моментов до воздействия на нее (атмосферу) ЛМ ориентированы хаотично. Поэтому можно принять, что в невозбужденной воздушной атмосфере суммарный вектор дипольных электрических моментов молекул воды, содержащихся в любом микроскопическом (макроскопическом) атмосферном объеме влаги, будет равен нулю. Считаем, что воздействие внешнего электрического поля с напряженностью  $E_B$  (например, от ЛМ или от ее оставшихся в атмосфере зарядных электрических образований) приводит к дополнительной электронной и ориентационной поляризации полярных диэлектрических микросфер воды [6, 7]. Известно, что данная электрическая поляризация для такого полярного диэлектрика как вода связана с возникновением в ее молекулах индуцированного электрического дипольного момента  $p_e$ , обусловленного дополнитель-

ным пространственным смещением их сравнительно легких отрицательно заряженных электронных облаков относительно сравнительно тяжелых положительно заряженных ядер [7]. Полагаем, что после указанной поляризации во внешнем электрическом поле с напряженностью  $E_B$  диэлектрические микросферы воды принимают более продолговатую геометрическую форму, похожую на вытянутые сфероиды [6, 8]. На основании законов поляризации диэлектриков допускаем, что торцы этих изотропных вытянутых сфероидов микрочастиц воды, состоящих из полярных молекул влаги, на своих поверхностях содержат поляризационные некомпенсированные связанные электрические заряды противоположной полярности с поверхностной плотностью  $\sigma_e$ . Причем, на торцевых поверхностях вытянутых сфероидов микродиполей воды (с наименьшим радиусом торцов около  $r_m$ ), в которые входят силовые линии и векторы напряженности  $E_B$  возникают отрицательные заряды (избыток электронов), а на их противоположных поверхностях – положительные заряды (недостаток электронов).

Принимаем то допущение, что в указанных выше активных электромагнитных и метеорологических условиях в воздушной атмосфере за счет действия в ней ЛМ возможно локальное формирование высококонцентрированного макроскопического электронного сфероподобного образования (электронного сгустка или ядра молнии радиусом  $r_e$ ), вокруг которого, в свою очередь, возможна объемная концентрация взвешенных в воздухе указанных выше электрических микродиполей влаги, образующих внешнюю оболочку молнии. Полагаем, что при данной локальной концентрации электродиполей – вытянутых сфероидов воды вокруг принятого центрального электронного "зародыша" или ядра молнии расстояние  $r_{em}$  между торцами диполей микрочастиц влаги, а также между диполями и ядром ШМ составляет порядка габаритных размеров молекулы воды (рис.).

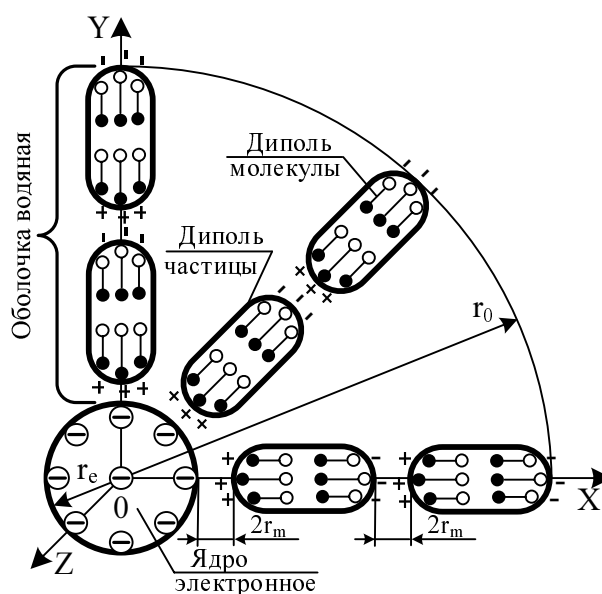


Рис. Радиальная структура молнии и основные электрофизические элементы в предложенной модели ШМ

В пользу такого допущения качественно говорит тот факт, что при электрической поляризации полярного диэлектрика (в нашем случае воды) величина пространственного смещения зарядов его молекул оказывается равной примерно диаметру молекул вещества. Именно при таком допущении формируемое из электрических микродиполей воды внешнее образование ШМ (ее дипольная оболочка) будет практически однородной по радиусу электрической структурой. А значит, такая внутренняя структура оболочки ШМ будет более отвечать электрическим условиям ее относительной устойчивости и долговечности. Требуется с учетом принятых положений и допущений разработать новую более уточненную и отвечающую реальным электрофизическим условиям в воздушной атмосфере Земли физико-математическую модель ШМ и на ее базе выполнить расчетные оценки возможных уровней электрических полей, плотностей и абсолютных показателей электрической энергии, которые могут образовываться и запасаться в ШМ.

## 2. ОБЩИЕ ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ПРЕДЛОЖЕННОЙ МОДЕЛИ ШМ

Считаем, что согласно предлагаемой модели исследуемого вида молнии и в соответствии с рис. образующаяся в воздушной земной атмосфере ШМ характеризуется следующими вероятными основными электрофизическими и геометрическими признаками:

1. Наличием центрального высококонцентрированного отрицательно заряженного неподвижного сплошного электронного ядра молнии сферической формы с макроскопическим радиусом  $r_e$ .

2. Наличием вокруг ядра молнии внешней сферической оболочки ШМ наружным макроскопическим радиусом  $r_0$ , состоящей из множества радиально расположенных неподвижных электрических диполей микрочастиц воды, состоящих из поляризованных полярных молекул и размещенных по радиусу на расстоянии  $r_{em}$  друг от друга и от ядра молнии.

3. В оболочке ШМ междипольное расстояние  $r_{em}$  равно диаметру  $2r_m$  сферы полярной молекулы воды до воздействия на нее внешнего электрического поля с напряженностью  $E_B$ , а продольный размер электрического диполя микрочастицы воды не менее, чем на порядок больше продольного размера ее молекулярного диполя.

4. Образованием внутреннего и внешнего электростатических электрических полей, первое из которых локализуется между ядром молнии и первым слоем электрических диполей микрочастиц воды, а также между указанными диполями микрочастиц и молекул, а второе возникает вне сферической оболочки ШМ.

5. Электродиполи молекул воды с поляризационными некомпенсированными зарядами на своих краях характеризуются электрическими потенциалами  $\varphi_{e+}$  и  $\varphi_{e-}$  и образуют своими краями эквипотенциальные сфероподобные краевые поверхности диполей микрочастиц воды с указанными потенциалами.

6. Наименьший радиус краев электрических диполей – вытянутых сфероидов микрочастиц воды, на которых сконцентрированы их поверхностные поля-

ризационные некомпенсированные связанные заряды с поверхностной плотностью  $\sigma_e$ , равен примерно радиусу  $r_m$  сферы полярной молекулы воды.

7. Поверхностная плотность  $\sigma_e$  поляризационных некомпенсированных зарядов диполей микрочастиц воды приблизительно равна поверхностной плотности  $\sigma_m$  поляризационных зарядов для диполей полярных молекул воды, характеризующихся в объеме микрочастиц влаги своей концентрацией (объемной плотностью), равной  $n_0$  ( $m^{-3}$ ) [6].

## 3. РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА УРОВНЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ В ШМ

В соответствии с принятыми положениями, допущениями, структурными элементами ШМ и законами электростатики для электрической системы «микродиполь воды – микродиполь воды» внешней оболочки исследуемого вида молнии с поверхностными поляризационными связанными зарядами противоположной полярности плотностью  $\sigma_e = \sigma_m$  и электрическими потенциалами краев микродиполей воды, равными  $\varphi_{e+}$  и  $\varphi_{e-}$ , можно записать следующее приближенное выражение [9, 10]:

$$\frac{10e_0}{(\varphi_{e+} - \varphi_{e-})} = \frac{\pi\epsilon_0 r_m}{(1 - r_m \cdot r_{ee}^{-1})}, \quad (1)$$

где  $e_0 = 1,602 \cdot 10^{-19}$  Кл – электрический заряд электрона;  $r_{ee} = 4r_m$  – эквивалентное расстояние между условными центрами противоположно заряженных краевых полусфер микродиполей воды;  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м – электрическая постоянная.

В левой части (1) для микродиполей воды присутствует электрический заряд  $q_m = 10e_0$ , обусловленный суммарным количеством связанных электронов в молекулярном электродиполе воды и соответственно в молекуле воды (восемь электронов от атома кислорода и два от двух атомов водорода) [7]. Пространственное дополнительное смещение во внешнем электрическом поле именно этого количества электронов в полярной молекуле воды относительно ее положительно заряженных ядер атомов кислорода и водорода и обуславливает ее, а также микродиполей воды дополнительную электрическую поляризацию.

С учетом того, что модули  $|\varphi_{e+}|$  и  $|\varphi_{e-}|$  электрических потенциалов рассматриваемых микродиполей воды равны друг другу, то из (1) для модулей электрических потенциалов краев электрических микродиполей и молекулярных диполей воды в ШМ в принятом приближении получаем:

$$|\varphi_{e+}| = |\varphi_{e-}| = \frac{15e_0}{4\pi\epsilon_0 r_m}. \quad (2)$$

Численная оценка радиуса  $r_m$  сферы полярной молекулы воды, входящего в формулу (2), при плотности воды в  $1000 \text{ кг/м}^3$  [7], молярной массе воды  $M_m = 18 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$  [7], количестве молекул воды в ее одном моле –  $6,022 \cdot 10^{23}$ , равном постоянной Авогадро [7], и соответственно массе одной молекулы воды приблизительно в  $2,99 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$  показывает, что вели-

чина  $r_m$  составляет примерно  $1,925 \cdot 10^{-10}$  м. Тогда согласно принятой расчетной модели ШМ и в соответствии с (2) уровень электрического потенциала во внешней оболочке ШМ может составлять около  $\pm 112$  В. Этот уровень  $\Phi_{e+}$  и  $\Phi_{e-}$  при принятой геометрии электрических микродиполей воды, ядра и внешней оболочки молнии будет наибольшим для ШМ.

#### 4. РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА УРОВНЯ НАПРЯЖЕННОСТЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ШМ

**Расчет электрического поля внутри ШМ.** Принимая во внимание принятую структуру и геометрию составных элементов ШМ, для напряженности  $E_{ОВ}$  электростатического электрического поля между микродиполями воды, входящими в оболочку молнии, следует следующее приближенное соотношение:

$$E_{ОВ} = \frac{(\Phi_{e+} - \Phi_{e-})}{2r_m}. \quad (3)$$

При равенстве электрических потенциалов двух смежных микродиполей воды со связанными поляризационными зарядами противоположной полярности, разделенных вакуумным зазором молекулярной толщины  $2r_m$ , с учетом (2) из (3) для  $E_{ОВ}$  получаем:

$$E_{ОВ} = \frac{15e_0}{4\pi\epsilon_0 r_m^2}. \quad (4)$$

В результате из (4) при  $r_m = 1,925 \cdot 10^{-10}$  м следует, что уровень напряженности электрического поля в изоляционных (вакуумных) зазорах внешней оболочки ШМ, содержащей электрические микродиполи воды, может составлять численное значение, равное примерно  $5,831 \cdot 10^{11}$  В/м. Сравнение полученного уровня напряженности электростатического сверхсильного электрического поля в микродипольной оболочке ШМ с известными на сегодня количественными показателями для сверхсильных электрических полей в области атомной и ядерной физики свидетельствует о том, что согласно современным данным, приведенным в [7, 11], уровни напряженности электрического поля в атомах вещества, создаваемого электрическими зарядами ядер и электронных атомных сферических оболочек, составляют не менее  $10^{10}$  В/м. Видно, что полученные здесь данные для  $E_{ОВ}$  не противоречат фундаментальным физическим данным современной науки и здравому физическому смыслу.

**Расчет электрического поля снаружи ШМ.** Можно показать, что в воздушной атмосфере снаружи рассматриваемой модели ШМ вблизи ее наружного сферического слоя из отдельных электрических микродиполей воды для напряженности  $E_{ОН}$  электростатического электрического поля в соответствии с фундаментальной теоремой Остроградского-Гаусса [6] будет справедлива следующая расчетная формула:

$$E_{ОН} = \frac{\sigma_e}{\epsilon_0}. \quad (5)$$

В приближении того, что поверхностная плотность  $\sigma_e$  поляризационных некомпенсированных зарядов микродиполей воды равна поверхностной

плотности  $\sigma_m$  связанных зарядов величиной  $q_m = 10e_0$  на элементарных диполях полярных молекул воды, обусловленных дополнительной поляризацией этих молекул во внешнем электрическом поле с напряженностью  $E_B$ , а также того, что поверхность полусфер диполей полярных молекул воды с этими связанными зарядами противоположной полярности равна  $S_m = 2\pi r_m^2$ , для величины  $\sigma_e$  примерно имеем:

$$\sigma_e = \frac{5e_0}{\pi r_m^2}. \quad (6)$$

Тогда с учетом (6) из (5) получаем следующее приближенное расчетное соотношение для напряженности электрического поля снаружи ШМ вблизи ее сферической микродипольной водяной оболочки:

$$E_{ОН} = \frac{5e_0}{\pi\epsilon_0 r_m^2}. \quad (7)$$

Численная оценка уровня  $E_{ОН}$  по (7) показывает, что при  $r_m = 1,925 \cdot 10^{-10}$  м снаружи ШМ вблизи ее микродиполей воды можно ожидать действие электростатического сверхсильного электрического поля с напряженностью, примерно равной  $E_{ОН} = 7,774 \cdot 10^{11}$  В/м. Как видим, уровень напряженности  $E_{ОН}$  электрического поля снаружи оболочки ШМ по (7) незначительно отличается от уровня напряженности  $E_{ОВ}$  электрического поля между микродиполями воды внутри оболочки ШМ, оцененного нами выше по (4). Такое согласие полевых характеристик  $E_{ОВ}$  и  $E_{ОН}$  может указывать на правомерность выбранной геометрии составных частей ШМ и используемых для ее исследования физических подходов.

#### 5. РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА УРОВНЯ ПЛОТНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ШМ

Теория электромагнитного поля и полученное нами для ШМ полевое соотношение (4) позволяют оценить уровень плотности  $w_0$  электрической энергии, запасаемой в слоистой микродипольной оболочке рассматриваемого вида молнии, в следующем приближенном виде:

$$w_0 = \frac{\epsilon_0 E_{ОВ}^2}{2} = \frac{7e_0^2}{\pi^2 \epsilon_0 r_m^4}. \quad (8)$$

Из (8) при  $r_m = 1,925 \cdot 10^{-10}$  м следует, что уровень плотности  $w_0$  электрической энергии, сосредоточенной в межмикродипольном воздушном (вакуумном) зазоре внешней поляризованной водяной оболочки ШМ достигает численной величины, равной примерно  $1,498 \cdot 10^{12}$  Дж/м<sup>3</sup>. Для сравнения этой величины с известными в электрофизике больших токов, высоких напряжений, плотностей токов и температур удельными показателями энергии в твердых телах отметим, что удельная энергия сублимации  $w_C$  меди, равная количеству теплоты для перевода единицы объема твердого материала медного проводника в металлический пар, состоящий из нейтральных атомов, принимает численное значение примерно  $4,68 \cdot 10^{10}$  Дж/м<sup>3</sup>

[12], а удельная энергия теплового разрушения  $w_D$  меди при импульсном воздействии на нее мощного лазерного излучения составляет около  $3,62 \cdot 10^{10}$  Дж/м<sup>3</sup> [13]. Кроме того, в атоме водорода (этом простейшем атоме вещества) согласно расчетным оценкам, представленным в [11], плотность энергии сверхсильного электрического поля достигает значений порядка  $10^{21}$  Дж/м<sup>3</sup>. Поэтому указанный выше оценочный уровень такого энергетического показателя как  $w_0$  для ШМ представляется вполне возможным.

## 6. РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАПАСАЕМОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ШМ

Запасаемая в междипольных сферических слоях оболочки ШМ электрическая энергия  $W_0$  молнии при принятом изоляционном межслойном радиальном зазоре величиной  $2r_m$  и оцененном нами уровне  $w_0$  определяется габаритными размерами электронного ядра (его радиусом  $r_e$ ) и внешней поляризованной водяной оболочки из микродиполей влаги (ее радиусом  $r_0$ ). Чем больше радиальная толщина ( $r_0 - r_e$ ) оболочки ШМ и тем больше в ней фактически молекулярных концентрических расположенных сферических природных конденсаторов на напряжение порядка 200 В (этот уровень напряжения следует из результатов раздела 3), тем больше и значения  $W_0$  для запасенной в ШМ электрической энергии между ее диполями микрочастиц. Можно считать, что с учетом используемых допущений в микродипольной водяной оболочке молнии (этом молекулярном многослойном сферическом электрическом накопителе атмосферного электричества) энергетически активная зона молнии ориентировочно занимает 1/1000 часть объема оболочки ШМ (из-за десятикратного превосходства радиальных размеров диполей микрочастиц воды над линейными размерами молекулярных диполей воды). При таком подходе рабочий активный сферический объем  $V_{OP}$  природного молекулярного накопителя электрической энергии, образованного только диполями микрочастиц воды, в ШМ может составить:

$$V_{OP} = \frac{\pi(r_0^3 - r_e^3)}{750}. \quad (9)$$

В результате с учетом (8) и (9) для уровня запасаемой в ШМ межмикродипольной электрической энергии  $W_0$  можно записать такое приближенное соотношение:

$$W_0 = \frac{7e_0^2(r_0^3 - r_e^3)}{750\pi\epsilon_0 r_m^4}. \quad (10)$$

При исходных оценочных геометрических параметрах для ШМ, примерно равных  $r_0 = 0,05$  м,  $r_e = 0,01$  м и  $r_m = 1,925 \cdot 10^{-10}$  м, из (10) для количественного показателя запасаемой в межмикродипольных слоях оболочки исследуемой молнии электрической энергии находим, что для выбранного нами случая величина  $W_0$  принимает численное значение около  $7,8 \cdot 10^5$  Дж, то есть порядка 1 МДж. Надо заметить, что при такой оценке электрической энергии, запасаемой в

ШМ, не учтены ее запасы, сосредоточенные между электрическими молекулярными диполями воды.

## 7. ОЦЕНКА ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ, РАДИАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ И УСТОЙЧИВОСТИ ШМ С ПОЗИЦИИ ПРЕДЛОЖЕННОЙ МОДЕЛИ

Отметим, что на основе предложенной здесь модели ШМ качественно описывается и геометрическая форма рассматриваемого природного феномена. Для обеспечения относительной электрической устойчивости ШМ, содержащей отрицательно заряженное сплошное ядро (сгусток электронов) и электронейтральную оболочку, необходима именно сферическая форма для этого электрофизического образования. Она необходима и для образования в воздушной атмосфере относительно долгоживущего сообщества связанных из-за поляризации положительных и отрицательных электрических зарядов рассматриваемых электрических микродиполей и молекулярных диполей оболочки ШМ: ведь только электронейтральность материи в макрообъемах обеспечивает ей надежное и устойчивое существование. Проявление одновременного электростатического притяжения и отталкивания поляризованных микроскопических и молекулярных диполей влаги в трехмерной сферической системе координат обеспечивает их взаимное относительно долгое сосуществование. Именно такая объемная макроэлектронейтральность дипольной оболочки ШМ и достигается при сфероподобной геометрической форме активной зоны в ШМ. Нарушение симметрии в оболочке ШМ и соответственно ее макроэлектронейтральности, а также возможные нарушения в балансе электрических зарядов электронного ядра ШМ незамедлительно приводит к электрическому распаду этого относительно устойчивого электрофизического образования из центрального отрицательно заряженного электронного ядра и периферийных электронейтральных диполей микрочастиц (молекул) воды и к дальнейшему выделению в воздушной области ее локализации запасенной электрической энергии  $W_0$  в междипольных (межмолекулярных) воздушных (вакуумных) радиальных слоях атомарно-молекулярной толщины оболочки ШМ, на края которых размещены противоположно заряженные концы электрических микродиполей воды с поверхностными поляризационными связанными зарядами плотностью  $\sigma_e$ .

По-видимому, главной причиной недолговечности ШМ является ее немакроэлектронейтральность: наличие высококонцентрированного центрального отрицательно заряженного ядра (наиболее вероятно электронного сгустка геометрической формы, близкой к сферической) и макроэлектронейтральной оболочки из поляризованных микрочастиц (молекул) воды. С другой стороны, именно наличие высококонцентрированного заряженного ядра из электронов (центрального "зародыша" молнии) и является одной из главных причин образования самой ШМ. Без этого высококонцентрированного электронного ядра (электрического "зародыша" отрицательной полярности), по-моему, мнению, невозможно собрать и электрически удержать в локальной зоне огромное количество поляризованных микрочастиц и молекул воды. С учетом изложенного выше можно заключить, что время

существования ШМ (время ее "жизни") определяется как периодом сохранения макроэлектронейтральности ее сферической оболочки из электрических микродиполей воды, так и временем сохранения отрицательно заряженным ядром (высококонцентрированным электронным сгустком) своей немакроэлектронейтральности. Массовый отвод электрических зарядов одной полярности из сферического объема ШМ вне него (например, от сплошного электронного ядра на землю через заземленные металлические конструкции) и резкое ослабление уровня внешнего радиального электрического поля ядра молнии с напряженностью  $E_{я}$  может приводить к деполяризации близлежащих к ядру микрочастиц и молекул воды и к электрической асимметрии в оболочке рассматриваемого электрофизического образования, к ее (оболочки) разрушению и радиальному разлету входивших в ее состав электронейтральных микрочастиц (молекул) воды, а также к потере из-за распада электронного ядра молнии своей немакроэлектронейтральности и неизбежному распаду ШМ.

Можно ожидать, что при быстром массовом истечении отрицательных зарядов (электронов) из ядра исследуемого типа молнии будет наступать быстрый распад электронейтральной оболочки молнии, приводящий к выделению в ее локальной сферической зоне больших запасов накопленной в ней (микродипольной оболочке) электрической энергии (как  $W_0$ , так и ее запасов в слоях между диполями молекул воды). Так как оцененные нами выше значения плотности электрической энергии  $w_0$  в микродипольной оболочке ШМ достигают уровня порядка  $10^{12}$  Дж/м<sup>3</sup>, то быстрое выделение в ограниченном сферическом объеме таких высоких удельных показателей энергии будет сопровождаться воздушным взрывом. Для сравнения этих удельных энергетических данных для ШМ с известными в физике высоких плотностей энергии и лучшего понимания рассматриваемой нами задачи отметим, что удельные показатели энергии, выделяющейся при взрыве химических взрывчатых веществ, локальных взрывах поверхностных микрослоев металла под действием мощного лазерного излучения, а также плотности тепловой энергии в электрически взрывающихся под действием токов большой плотности металлических проводниках достигают значений порядка  $10^{10}$  Дж/м<sup>3</sup> [13, 14]. При медленном тихом распаде электронного ядра и электронейтральной микродипольной оболочки ШМ возможно образование в ее электрически разрушенной сферической зоне лишь небольшого облака, состоящего, наверное, из электронейтральных водяных паров.

## 8. ПУТИ ФОРМИРОВАНИЯ В АТМОСФЕРЕ ШМ НА ОСНОВЕ ПРЕДЛОЖЕННОЙ МОДЕЛИ

На взгляд автора, исходным центральным высококонцентрированным электрически заряженным "зародышем" (сферическим ядром ШМ) при формировании указанного выше сообщества электрических диполей микрочастиц-сфероидов воды, объединенного в электрически активную сферу-оболочку ШМ, могут служить незавершенные электрические высокоинтенсивные стримеры (электронные лавины с concentra-

цией электронов порядка  $10^{26}$  м<sup>-3</sup>) боковых ветвей ЛМ [1, 2], развивающихся при грозовой деятельности в воздушной земной атмосфере между грозowymi облаками или между грозowym облаком и землей. Кроме того, ранее автором на основе положений квантовой физики было показано, что при дрейфе свободных электронов (этих квантовомеханических объектов) в проводнике (или сильноточном плазменном канале ЛМ в воздушной атмосфере) вдоль пути их движения могут образовываться локальные продольные периодические области из высококонцентрированных электронов [15, 16]. Линейные размеры таких электронных образований (электронных сгустков) в нашем случае согласно соотношению неопределенностей Гейзенберга определяются электронной плотностью  $\delta_e$  электрического тока в сильноточном воздушном разрядном канале ЛМ диаметром до 1 м и в соответствии с формулой (5) из [16] при реальных для ЛМ значениях  $\delta_e = (1-10) \cdot 10^5$  А/м<sup>2</sup> и плотности электронов  $n_e$  в канале молнии порядка  $10^{26}$  м<sup>-3</sup> могут составлять от единиц до десятков миллиметров. Поэтому причиной образования высококонцентрированных электронных сгустков (центрального "зародыша" или отрицательного ядра ШМ) в воздушной атмосфере при развитии в ней ЛМ могут быть квантовомеханические эффекты, возникающие в боковых незавершенных разрядных ветвях ЛМ при протекании по ним свободных электронов высокой концентрации.

После завершения при ЛМ грозowych электрических разрядов указанные высококонцентрированные электронные образования (электронные сгустки), стохастически локализованные приблизительно в форме микросфер в воздушной атмосфере, могут стать тем отрицательно заряженным высококонцентрированным электрическим центром (ядром), вокруг которого могут послойно группироваться радиально ориентированные электрические микродиполи из микрочастиц и молекул влаги и образовывать таким путем сферический макрообъем ШМ, взвешенный в воздухе. Здесь важно отметить то обстоятельство, что при формировании вокруг такого электронного ядра молнии первого слоя электрических микродиполей воды компенсации ядром поляризационных связанных электрических зарядов этих диполей, расположенных на их краевых поверхностях, происходить не будет. Причиной тому является связанность данных поверхностных некомпенсированных зарядов в микрочастицах (молекулах) воды. На то, что подобные микрочастицы (молекулярные соединения) влаги могут образовывать взвешенные и сравнительно легко перемещающиеся в воздухе макрообразования достаточно прямо указывают бесчисленные метеорологические данные (например, образование в воздушной атмосфере тумана или тех же грозowych облаков, но, правда, с несколько иной массовой плотностью). Перемещающаяся в воздушном электрически наэлектризованном и поляризованном пространстве, особенно после воздействия на него и на содержащиеся в нем микрочастицы и молекулы воды высокоинтенсивных электромагнитных процессов (больших импульсных токов, сильных электрических и магнитных полей), неиз-

менно сопровождающих ЛМ, и втягивая в свою сферическую активную зону все новые электрические микродиполи влаги, ШМ за счет радиального постадийного (методом "слой за слоем") выстраивания по сферической поверхности этих электрических микродиполей увеличивает свои геометрические размеры и соответственно запасы электрической энергии  $W_0$ , накапливаемой в ее тонких междипольных (межмолекулярных) воздушных (вакуумных) сферических слоях оболочек.

Что необходимо для образования в воздушной атмосфере ШМ? В соответствии с предложенной автором приближенной физико-математической моделью такого природного электрофизического феномена как ШМ для этого, прежде всего, необходимо:

- во-первых, наличие в воздушной атмосфере высококонцентрированного электрически активного центрального электронного "зародыша" (отрицательно заряженного ядра ШМ) примерно сферической формы со сравнительно большим отрицательным электрическим зарядом, который может стать электрическим центром для объемного послонного формирования вокруг него радиально ориентированных электрических микродиполей (поляризованных микрочастиц-сфероидов и молекулярных диполей) воды, образующих электронейтральную оболочку ШМ;
- во-вторых, наличие в воздушной атмосфере взвешенных в ней электрических микродиполей (поляризованных микрочастиц-сфероидов с полярными молекулами) воды в количестве, достаточном для образования вокруг центрального высококонцентрированного электрического "зародыша" примерно сферической формы (отрицательно заряженного ядра молнии) электрически нейтральной оболочечной макроскопической структуры ШМ, состоящей из поляризованных микрочастиц с полярными молекулами воды и определяющей геометрические размеры сферы ШМ;
- в-третьих, наличие в воздушной атмосфере такой активной электромагнитной и метеорологической обстановки (совокупности движущихся и покоящихся электрических зарядов, электрических и магнитных полей, а также перемещающихся воздушных и мелкодисперсных водяных масс), которая может произвести до поляризации взвешенных в воздухе микрочастиц (молекул) воды и массового образования из них в окружающем пространстве электрических диполей влаги микроскопических (молекулярных) размеров;
- в-четвертых, первоначальное выпадение на землю дождевых осадков и дальнейшее протекание в воздушной атмосфере, содержащей мелкодисперсные взвешенные в воздухе частицы влаги, интенсивных грозных электрических разрядов (ЛМ, являющихся, как правило, предвестником ШМ), способных за счет протекания по сильноточному плазменному каналу ЛМ больших количеств электричества (прежде всего, свободных электронов) вызвать в ней (земной атмосфере) образование активного центрального сфероидального высококонцентрированного электронного "зародыша" или сгустка ШМ (отрицательно заряженного ядра молнии) и электрических микродиполей (поляризованных микрочастиц и молекул) воды.

Анализ приведенных автором выше необходимых основных условий для образования в воздушной атмосфере ШМ свидетельствует о том, что эти физические условия могут вполне реально возникать при протекании в ней ЛМ и наличии в воздухе множественных быстро перемещающихся в мощных электрических полях от ЛМ и подверженных воздействию интенсивных звуковых колебаний (например, из-за ударных акустических волн в воздухе от плазменного разрядного канала ЛМ) микрочастиц влаги, возникающих в атмосфере за счет естественного испарения с поверхности земли воды и дождевых осадков.

Следует отметить, что нам, видимо, требуется исключить из рассмотрения возможное присутствие в ШМ высококонцентрированного положительно заряженного ядра молнии. Возможным основанием для этого может служить то, что, во-первых, маловероятно наличие в воздушной атмосфере высококонцентрированного образования из таких устойчивых античастиц как позитроны, имеющих положительный элементарный заряд и массу, которые по модулю равны соответствующим величинам для электрона. Известно, что эти античастицы в небольших концентрациях содержатся в космических лучах, действующих на земную атмосферу, и являются продуктом ядерных реакций, вероятность активного протекания которых в воздушной атмосфере даже при ЛМ крайне мала. Во-вторых, из других известных и могущих присутствовать в атмосферном воздухе элементарных носителей электричества положительной полярности являются протоны, масса которых  $m_p$  приблизительно равна  $m_p = 1836 \cdot m_e$ , где  $m_e = 9,108 \cdot 10^{-31}$  кг – масса покоя электрона [7]. В связи с тем, что в природе ШМ может достаточно свободно и сравнительно легко перемещаться в воздушном пространстве и вдоль встречающихся на ее пути физических тел (различных предметов, ограждающих изоляционных и металлических конструкций технических сооружений), то она по своей массе должна иметь весьма незначительные показатели. Этим показателям очевидно больше удовлетворяет отрицательно заряженный и относительно легкий электрон и соответственно отрицательно заряженное высококонцентрированное центральное образование ШМ – сплошное электронное ядро молнии сравнительно малой массы.

Что касается физического механизма радиально-послонного выстраивания по сферическим поверхностям вокруг электрически заряженного центрального "зародыша" (отрицательного ядра ШМ) электрических микродиполей воды, разделенных между собой молекулярными толщинами воздуха (вакуума), и образования таким способом взвешенного в воздухе сферического молекулярно-поляризационного накопителя электрической энергии макроскопических размеров, то здесь он может нами быть представлен пока качественно. Отметим в этой связи то, что возможность формирования такого сложного электрофизического образования как ШМ из центрального электронного сгустка и периферийных электронейтральных микроэлектродиполей воды не противоречит законам современной классической электродинамики и электростатики.

В соответствии с общепринятой теорией ориентационной поляризации полярных диэлектриков (например, воды) во внешнем электрическом поле (например, в радиальном электрическом поле от сферического высококонцентрированного электронного ядра ШМ или в ином поле) с напряженностью  $E_B$  действующие на жесткие электрические микродиполи полярного диэлектрика (например, воды) моменты  $M_e = p_e \cdot E_B \cdot \sin \beta$  ( $\beta$  – угол между направлением векторов дипольного момента  $p_e$  молекул воды и напряженности  $E_B$  внешнего электрического поля) стремятся развернуть эти молекулярные диполи так, чтобы их дипольные электрические моменты  $p_e = \alpha \epsilon_0 \cdot E_B$ , где  $\alpha$  – поляризуемость молекул диэлектрика (например, для воды  $\alpha = (\epsilon - 1) / n_0$ ;  $\epsilon = 81$  – относительная диэлектрическая проницаемость воды;  $n_0 = 2,68 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$  – концентрация полярных молекул воды в ее микрочастице [7]), совпадали по направлению с вектором напряженности  $E_B$  [6]. Такая пространственная ориентация микродиполей воды в радиальном электрическом поле центрального электронного ядра (сгустка) может действительно приводить к послойному радиальному формированию электродипольной внешней водяной оболочки ШМ.

Кроме того, на физическую возможность существования указанного образования из электрических микродиполей воды (этих поляризованных молекулярных соединений химических элементов водорода и кислорода), разделенных молекулярными (атомарными) толщинами вакуума (при таких толщинах зазоров между концами микродиполей воды их воздушные зазоры вырождаются в вакуумные) с уровнями напряженности электрического поля  $E_{ОВ}$  в них (этих вакуумных атомарных зазорах) порядка  $10^{11} \text{ В/м}$ , однозначно указывают результаты оценочных расчетов автора уровня сверхсильных электрических полей в атоме водорода [11]. Напомним, что согласно [11] уровень напряженности электрического поля между положительно заряженным ядром (протоном) и отрицательно заряженным электроном на его основной орбитали (на  $1s$  – электронном подуровне) в атоме водорода (этом простейшем атоме вещества) может достигать порядка  $10^{16} \text{ В/м}$ . Как видим, в равновесном электрическом состоянии микродипольной оболочки ШМ (количество распределенных по сферическому объему поляризованной оболочки вне центрального электронного "зародыша" (сгустка) ШМ связанных отрицательных зарядов равно количеству связанных положительных зарядов) электрического пробоя (завершенного электрического разряда) между противоположно заряженными и коронирующими концами указанных электрических микродиполей и разрушения оболочки ШМ (тихого или взрывообразного) происходить не должно.

По-видимому, данное разрушение оболочки ШМ и самой молнии может начать происходить при нарушении электростатического взаимодействия первого примыкающего к ядру молнии сферического слоя электрических микродиполей воды с отрицательно

заряженным ядром ШМ. Это нарушение может быть вызвано распадом самого ядра молнии, обусловленного, например, массовым отводом его носителей электричества (отдельных электронов из центрального электронного сгустка или "зародыша" отрицательной полярности) из области внутреннего ядра вне сферы (внешней оболочки) ШМ. Данный отвод отрицательных зарядов из ядра молнии может быть связан с контактом электрически коронирующей сферы ШМ с какой-либо металлоконструкцией, имеющей хорошую гальваническую связь с землей. Либо эти электрические нарушения в высококонцентрированном электронном ядре ШМ могут возникнуть при большой утечке через электрические диполи микрочастиц и молекул воды за счет электрической короны накопленных первоначальных зарядов (высококонцентрированных электронов) в области ядра молнии в окружающее ШМ воздушное пространство с распределенными в нем положительными ионами и свободными электронами, образовавшимися из-за процессов активной ионизации при ЛМ присутствующих в воздухе молекул (атомов) различных газов (например, водорода, кислорода, азота и др.).

В обоснование сказанного выше отметим, что полученные нами численные оценки напряженностей  $E_{ОВ}$  и  $E_{ОН}$  для электрического поля внутри в тонких межслойных (межмолекулярных) вакуумных междипольных зазорах сферической оболочки молнии и вне макрообъема ШМ вблизи ее наружной поверхности (порядка  $10^{11} \text{ В/м}$ ) однозначно указывают на то, что как внутри (между торцевыми краями микродиполей с поляризационными зарядами противоположной полярности), так и снаружи сферического образования ШМ (с краев радиально расположенных микродиполей с некомпенсированными связанными зарядами) должна интенсивно проявляться электрическая корона. А, как хорошо известно, из техники высоких (сверхвысоких) напряжений, подобное явление (электрическая корона) из-за электронных стримеров и ионного тока сопровождается ярким свечением, шипением и потрескиванием, то есть теми световыми и шумовыми эффектами, которые и характерны для ШМ [1, 2]. Возможно эта корона и ее незавершенные радиальные электрические разряды в окружающее ШМ воздушное пространство энергетически и подпитываются за счет электрической энергии, сосредоточенной внутри высококонцентрированного электронного сгустка ядра ШМ. Поэтому не исключено, что время "жизни" ШМ может определяться тем временным промежутком ее электрического коронирования, на который и хватает запасенной внутри высококонцентрированного электронного ядра молнии энергии. Обратим внимание читателя и на то, что интенсивная электрическая корона с электрически заряженных тел в воздухе приводит к образованию вокруг них озона и появлению запахов, характерных для горящей серы, то есть к появлению тех дополнительных внешних атрибутов, которыми сопровождается в том числе и исследуемая нами ШМ [1, 2].



## 9. РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА НЕОБХОДИМОГО В АТМОСФЕРЕ УРОВНЯ НАПРЯЖЕННОСТИ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ШМ

Необходимо обратить внимание, как специалистов, так и просто любознательных читателей, на то, что по непонятным для автора причинам большинство исследователей ШМ проходят мимо активных электрофизических процессов в воздушной атмосфере, предшествующих появлению в ней этого феномена природы. И в этом ряду процессов процесс электрической поляризации такого полярного диэлектрика, каким является вода, служит одним из основных и определяющих, наряду с процессом формирования при ЛМ высококонцентрированного электронного ядра молнии, энергетические затраты природы на создание ШМ. В самой ШМ происходит лишь концентрация этих энергозатрат, как в виде электронного ядра молнии с его мощным внешним электрическим полем, так и в виде сверхсильного электрического поля между поляризованными микрочастицами и молекулами воды. Какие же уровни электрического поля необходимы для разделения и пространственного смещения в полярных молекулах и микрочастицах воды их связанных зарядов и образования на их краях поляризационных зарядов противоположной полярности с поверхностной плотностью, равной  $\sigma_e$ ?

Ответ на данный вопрос кроется в физике диэлектриков, согласно которой для поляризационных некомпенсированных зарядов полярного диэлектрика с поверхностной плотностью  $\sigma_e$ , образованных в результате его помещения во внешнее атмосферного происхождения однородное или неоднородное электрическое поле с напряженностью  $E_B$ , выполняется следующее аналитическое соотношение [6]:

$$\sigma_e = \alpha \epsilon_0 n_0 \cdot E_B. \quad (11)$$

Подставив в (11) приведенное ранее в разделе 8 аналитическое выражение для поляризуемости молекул воды в виде  $\alpha = (\epsilon - 1) / \dots$ , для силового уровня требуемого внешнего электрического поля находим:

$$E_B = \frac{\sigma_e}{(\epsilon - 1)\epsilon_0}. \quad (12)$$

Используя оценочное выражение (6) для  $\sigma_e$ , после элементарных математических операций в соотношении (12) окончательно для необходимого в воздушной земной атмосфере уровня напряженности  $E_B$  внешнего электрического поля, приводящего к требуемой для образования ШМ активной электрической поляризации полярных молекул и микрочастиц воды, получаем:

$$E_B = \frac{5e_0}{\pi r_m^2 (\epsilon - 1)\epsilon_0}. \quad (13)$$

При  $\epsilon = 81$  и  $r_m = 1,925 \cdot 10^{-10}$  м из (13) искомая напряженность  $E_B$  внешнего электрического поля составляет численную величину, примерно равную  $9,718 \cdot 10^9$  В/м. Нетрудно видеть, что полученный уровень для  $E_B$  примерно на два порядка меньше оце-

ненного нами уровня напряженности сверхсильного электрического поля, сосредоточенного между электрическими микродиполями воды в оболочке ШМ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложены новые физическая модель и гипотеза возникновения в воздушной атмосфере ШМ, для которых приведены определенные теоретические выкладки и количественные оценки. Показано, что электрическая энергия, запасаемая в электронном ядре и дипольной водяной оболочке такого природного электрофизического феномена как ШМ, может черпаться из электрически активной воздушной атмосферы.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Юман М.А. Молния.- М.: Мир, 1972.- 327 с.
- [2] Кужекин И.П., Ларионов В.П., Прохоров Е.Н. Молния и молниезащита.- М.: Знак, 2003.- 330 с.
- [3] Баранов М.И. Ретроспектива исследований в области искусственного и атмосферного электричества и молниезащиты технических объектов// Электротехника і електромеханіка.- 2006.- №6.- С. 5-13.
- [4] Капица П.Л. О природе шаровой молнии // Доклады АН СССР.- 1955.- Том 101.- №2.- С. 245-248.
- [5] Баранов М.И. Петр Леонидович Капица – основоположник техники сильных импульсных магнитных полей// Электротехника і електромеханіка.- 2005.- №3.- С. 5-8.
- [6] Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике.- М.: Наука, 1990.- 624 с.
- [7] Кузьмичев В.Е. Законы и формулы физики/ Отв. ред. В.К. Тартаковский.- Киев: Наукова думка, 1989.- 864 с.
- [8] Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике.- М.: Наука, 1965.- 872 с.
- [9] Миролюбов Н.Н., Костенко М.В., Левинштейн М.Л. и др. Методы расчета электростатических полей.- М.: Высшая школа, 1963.- 415 с.
- [10] Иосель Ю.Я., Качанов Э.С., Струнский М.Г. Расчет электрической емкости.- Л.: Энергия, 1981.- 288 с.
- [11] Баранов М.И. Приближенный расчет сверхсильных электрических и сильных магнитных полей в атоме вещества // Электротехника і електромеханіка.- 2006.- №6.- С. 60-65.
- [12] Кнопфель Г. Сверхсильные импульсные магнитные поля.- М.: Мир, 1972.- 391 с.
- [13] Столович Н.Н. Электровзрывные преобразователи энергии/ Под ред. В.Н. Карношина. Минск: Наука и техника, 1983.- 151 с.
- [14] Баранов М.И., Игнатенко Н.Н., Колобовский А.К. Экспериментально-аналитическое определение удельной энергии электротеплового разрушения медных проводников под воздействием больших импульсных токов// Электротехника і електромеханіка.-2004.- №2.- С. 70-73.
- [15] Баранов М.И. Волновое распределение свободных электронов в проводнике с электрическим током проводимости // Электротехника.-2005.- №7.- С. 25-33.
- [16] Баранов М.И. Новые физические подходы и механизмы при изучении процессов формирования и распределения электрического тока проводимости в проводнике// Технічна електродинаміка.-2007.-№1.- С. 13-19.

Поступила 14.03.2008