

УДК 621.452:539.2

ДВИГАТЕЛИ И ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ С АВТОНОМНЫМ ИСТОЧНИКОМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Бадамшин И.Х.

*ГОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»,
Уфа, e-mail: adbadamshin@ugatu.ac.ru*

Рассматривается способ автономного генерирования электрических импульсов для потребителей различных типов, в частности для двигателей летательных аппаратов. Способ позволит создать автономное устройство для снабжения электроэнергией микро- и макрообъектов: элементы систем двигателей и летательных аппаратов, в том числе беспилотных «дронов» и других. Преимущества разработанного автономного источника электроэнергии: малые габариты; большая удельная мощность источника энергии; высокий потенциал повышения коэффициента полезного действия, так как нет промежуточного преобразования энергии; автономность работы; возможность изменять частоту импульсов и мощность за счет числа блоков в секции установки; возможность изменять силу тока и разность потенциалов за счет последовательного или параллельного соединения рабочих блоков в секции. Конструкция автономного источника электроэнергии является модульной, поэтому он может проектироваться и изготавливаться как для микро-, так и для макрообъектов.

Ключевые слова: системы обслуживания, двигатель, летательный аппарат

SELF-CONTAINED DEVICE FOR POWER SUPPLY FOR ENGINE AND AIRCRAFT

Badamshin I.Kh.

Ufa State Aviation Technical University, Ufa, e-mail: adbadamshin@ugatu.ac.ru

Engines and aircraft are consumers of electricity, including, and in idle state. The Generating electrical impulses method for Consumers of different types: Engine and Aircraft. The Course will create Self-contained device for power supply micro- and macro entity: Unmanned Aircraft – Drone. Advantages of the developed independent power source: small size; large specific power of the energy source; high potential for increasing the efficiency, since there is no intermediate energy conversion; autonomy of work; possibility to change the pulse frequency and power due to the number of blocks in the section. The design of an autonomous power source is modular, so it can be designed and manufactured for both micro- and macro-objects.

Keywords: engine maintenance system, engine, aircraft – drone

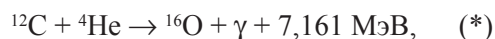
Системы обслуживания двигателей и летательных аппаратов имеют различные устройства, потребляющие электричество, в том числе импульсные токи. Например, обеспечение электрическими импульсами различных устройств в автономном режиме; подзарядка аккумуляторных батарей; аккумулялирование электрической энергии с помощью конденсаторов и т.п. Снабжение электроэнергией, после соответствующего преобразования, беспилотных летательных аппаратов различного типа, в том числе «дронов».

На рис. 1 [3] приведен пример схемы запуска газотурбинного двигателя, имеющего аккумуляторную батарею, требующую периодической подзарядки.

В работе рассматривается способ и схема устройства для автономного генерирования электрических импульсов (импульсных токов) для потребителей различных видов, в частности для двигателей летательных аппаратов.

Модель генерирования электрических импульсов

При слиянии альфа-частицы с ядром углерода в результате реакции



выделяется энергия 7,161 МэВ [6]. Данная реакция реализуется в результате бомбардировки ядер углерода в углеродной нанотрубке (УНТ) альфа-частицами радиоактивных элементов, таких как, уран 238, радий, торий и др.

Преобразование выделившейся энергии в электрическую обеспечивается формированием электронной лавины, которая генерирует электродвижущую силу (ЭДС).

Допущения.

1. «В ряде процессов образуется очень плотный высоконагретый газ, в котором присутствуют электроны. Такое положение возникает, когда первоначально твердое тело быстро нагревается до очень высоких температур порядка десятков или сотен тысяч градусов и, по существу, превращается в плотный газ, так как при таких температурах энергия теплового движения превышает энергию связи атомов в твердом или жидком веществе. ...Условия, при которых атомы мгновенно нагреваются до высокой температуры, после чего начинается ионизация, осуществляются в ударной волне» [1].

2. Энергия альфа-частицы при бомбардировке ядер углерода может быть меньше энергии связи. На рис. 2 [6] приведены экспериментальные зависимости полных сечений термоядерных реакций от энергии бомбардирующей частицы. В частности, для реакции (поз. 4 на рис. 2): $^{13}\text{C} + ^4\text{He} \rightarrow ^{16}\text{O} + n + 2,215 \text{ МэВ}$ энергия взаимодействующих частиц изменяется от 450 кэВ до 700 кэВ с соответствующими эффективными сечениями

реакции примерно от 10^{-9} до 10^{-6} барн. При этом энергия связи углерода ^{13}C составляет 7,469 МэВ.

Таким образом, реакция слияния ядер может происходить при значениях энергии частиц в несколько раз меньше энергии связи.

3. Для излучателя ^{238}U пробег альфа-частиц с энергией 450 кэВ составит 22 мм, соответственно, с энергией 700 кэВ составит 20 мм (рис. 3) [6].

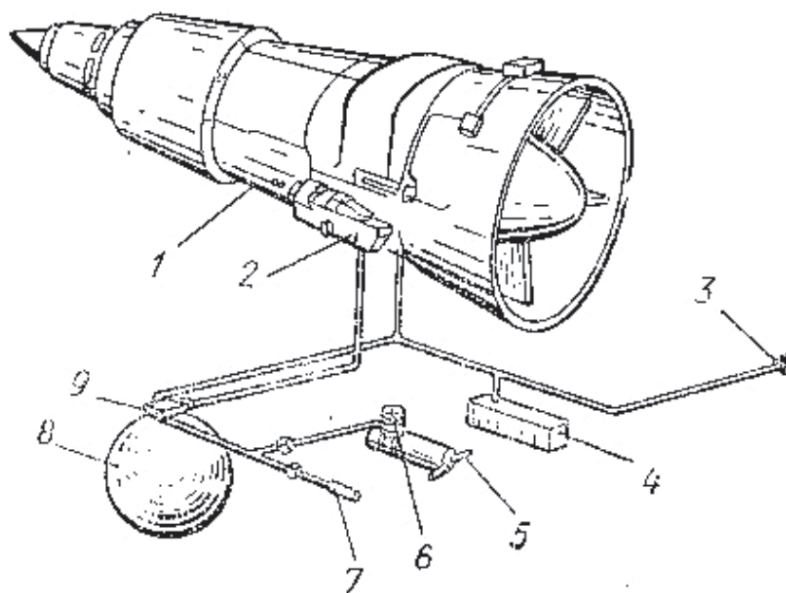


Рис. 1. Типичная схема автономной системы запуска с топливо-воздушным турбостартером (ТВТС): 1 – вспомогательный топливный насос; 2 – ТВТС; 3 – кнопка запуска; 4 – аккумуляторная батарея; 5 – к гидросистеме привода; 6 – воздушный компрессор высокого давления; 7 – заправка от постороннего источника; 8 – воздушный баллон высокого давления; 9 – редуктор

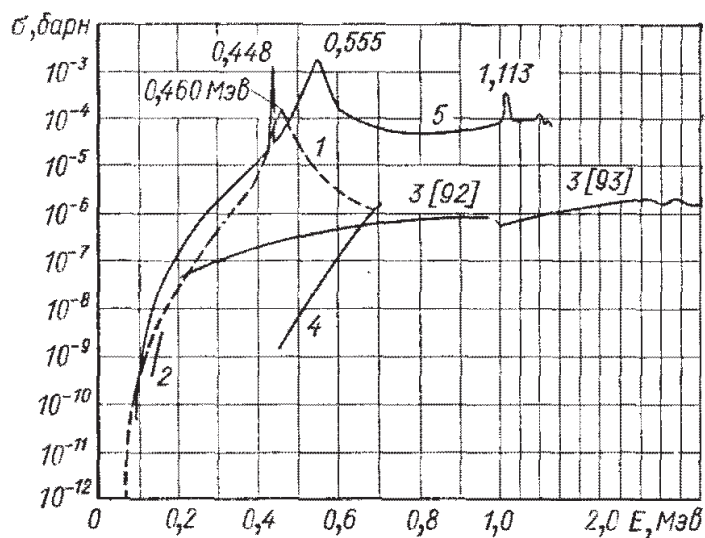


Рис. 2. Сечения реакций

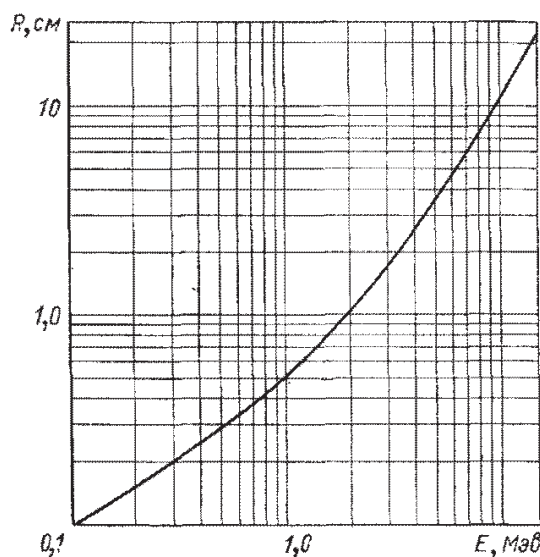


Рис. 3. Длина пробега альфа-частицы в воздухе как функция её энергии [6]

4. Образование электронной лавины.

4.1. Энергия реакции E и её температура T связаны известной формулой [7] $E = 3/2(k \times T)$, где k – постоянная Больцмана. В результате реакции слияния конечное ядро нагревается до температуры $5,54 \times 10^{10}$ К. Импульс энергии, выделившейся в одном ядре, передается электронным оболочкам ближайших соседей – атомов. Образуется электромагнитный импульс, электронная лавина и ударная волна. Вся энергия 7,161 МэВ присваивается потоку электронов, т.к. предполагается, что их взаимодействие происходит быстрее, вследствие малой массы и меньшей инерционности.

4.2. Модель цепной реакции передачи импульсов энергии в электронных оболочках УНТ представлена на схеме (рис. 4, а) и строится по аналогии с теорией Таундсена: «Предположим, что под действием какого-либо внешнего ионизатора ... вылетел электрон. На длине свободного пробега он будет двигаться ... ускоренно и перед столкновением приобретет определенную кинетическую энергию. Если эта энергия равна или больше энергии ионизации атомов газа, то при соударении атом будет ионизован, в результате чего появится ещё один новый электрон После соударения электроны ... (будут обладать достаточной энергией – прим. автора), ... и при следующем соударении появятся уже четыре электрона. После третьей ионизации их будет восемь, после четвертой – шестнадцать и т.д.» (рис. 4, б [2]).

4.3. Ударная волна, распространяющаяся в результате слияния ядер, передает энер-

гию от вновь образованного ядра цепочке соседних атомов в углеродной нанотрубке (УНТ). Импульс энергии передается ближайшим соседям – атомам, так как они находятся на кратчайшем межатомном расстоянии друг от друга. Поскольку в углеродной нанотрубке каждый атом углерода имеет три химические связи с соседними атомами, то импульс энергии передается именно в этих направлениях. Начальная энергия (а следовательно, и температура) после разделения на трёх связях углерода в цепной реакции распределения импульсов составляет 1/3 от выделившейся энергии реакции.

5. «Идеальная нанотрубка представляет собой свёрнутую в цилиндр графеновую плоскость, то есть поверхность, выложенную правильными шестиугольниками, в вершинах которых расположены атомы углерода. Результат такой операции зависит от угла ориентации графеновой плоскости относительно оси нанотрубки. Угол ориентации, в свою очередь, задаёт хиральность нанотрубки (рис. 5). ...Графен сворачивается в УНТ с учетом хиральности (вектора R)» [8].

Для обеспечения заданной модели цепной реакции альфа-частицы при бомбардировке должны быть направлены в головную фуллереновую часть УНТ. Атомная плоскость графена, свёрнутая в УНТ, является «каркасом», «системой каналов», по которому распространяется электромагнитный импульс (лавина), так как расстояние между атомами углерода является минимальным расстоянием между взаимодействующими частицами.

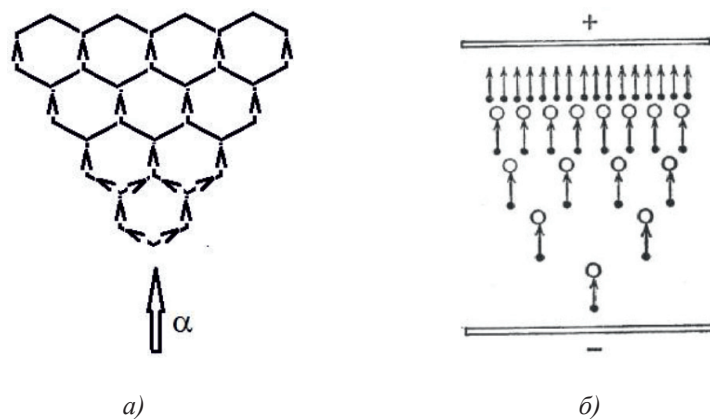


Рис. 4. Схема формирования электронной лавины: а) в структуре УНТ; б) классическое представление [2]

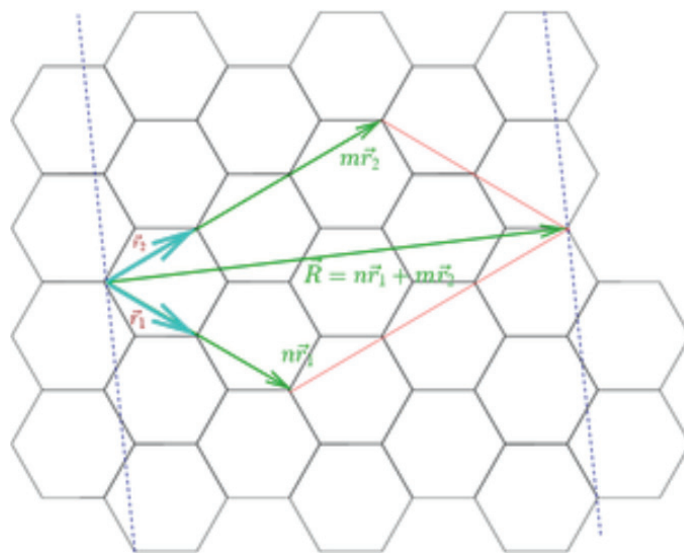


Рис. 5. Развёртка углеродной нанотрубки [8]

6. Температура в рабочей камере задаётся порядка 4500 К. Поскольку температура кипения графита составляет 4200 К, то при температуре 4 500 К углерод будет находиться в состоянии плазмы. Тогда, если энергия реакции составляет 7,141 МэВ (соответственно, начальная температура $5,54 \times 10^{10}$ К), то для достижения конечной температуры 4500 К исходная энергия должна распределиться на $1,23095 \times 10^7$ атомов. Отсюда количеством атомов определяется длина УНТ. Таким образом, температура плазмы регулируется числом атомов в углеродной нанотрубке. Зависимость температуры от числа атомов, следовательно, и расстояние, на которое распространяется энергия (рис. 6, а), аналогична функции конечного распределения температуры при сильном взрыве (рис. 6, б) [1].

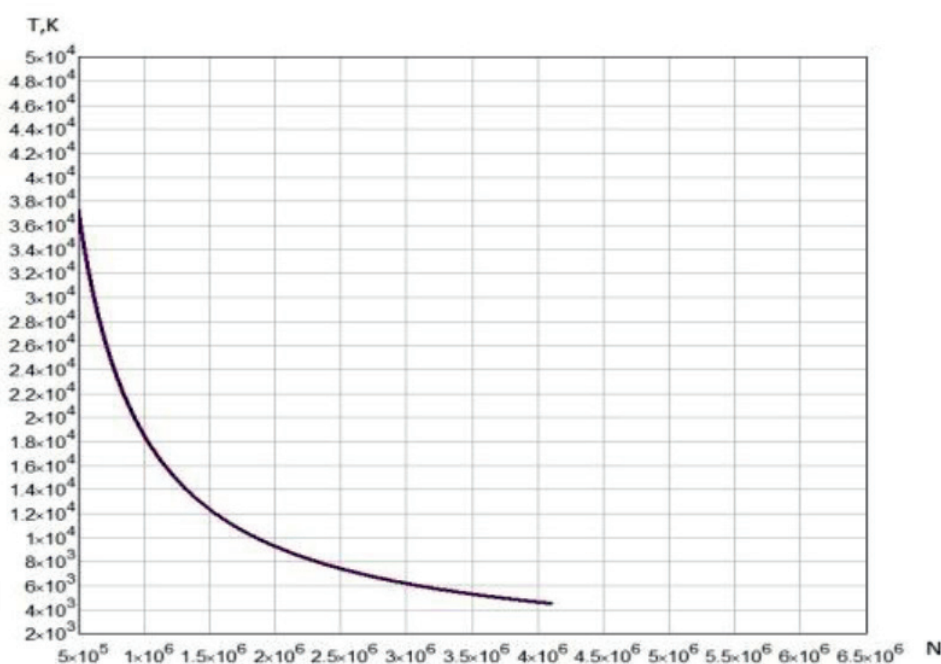
7. Электронная лавина формируется между электродами, с которых снимается электродвижущая сила (ЭДС). ЭДС $E_{\text{эdc}}$ определяется как отношение работы A по перемещению электрического заряда к величине этого заряда q , то есть $E_{\text{эdc}} = A/q$. Работа по перемещению зарядов в плазме совершается за счет кинетической энергии ударной волны, поэтому $E_{\text{эdc}} = (1/k) \times (K/q)$, где $K = m_e v^2/2$; m_e – масса элементарного заряда (электрона); v – скорость движения заряда; k – число разветвлений импульсов энергии ударной волны, равное числу связей. Поскольку в УНТ каждый атом имеет три химические связи с соседними атомами, то энергия ударной волны распространяется преимущественно в трёх направлениях. Поэтому число разветвлений импульсов энергии ударной волны составляет $k = 3$ (по чис-

лу химических связей в графене, свернутом в УНТ). В частности, при $Q = 1,183 \times 10^{-11}$ Кл, $E_{\text{эdc}} = (1/3) \times (1,14 \times 10^{-12}) / 1,18 \times 10^{-11} = 0,032$ В.

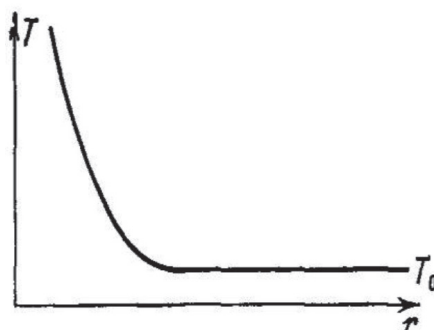
8. Длительность процесса.

8.1. Длительность процесса протекания импульса электрического тока принимается равной 10^{-12} с. Это положение основано на том, что: 1) колебательный импульс от слияния ядер, который передается электронной оболочке, по физической сущности является электромагнитным; 2) «типичный период колебаний кристаллической решетки составляет 10^{-12} с»; 3) «образование и разрыв химических связей длится 10^{-12} с» [9].

Необходимо отметить, что электромагнитный импульс развивается быстрее (10^{-15} с), чем происходит разрыв химической связи (10^{-12} с) с образованием вначале жидкой, а затем газообразной фаз, то есть плазмы. Иначе говоря, вначале образуется электромагнитный импульс и электронная лавина, а затем образуется плазма. Поскольку исходная температура плазмы составляет порядка 10^{10} К, то электропроводность плазмы σ при такой температуре стремится к бесконечности $\sigma \rightarrow \infty$. [4]. Затем вместе с уменьшением температуры снижается и электропроводность.



а)



б)

Рис. 6 Зависимость температуры от числа атомов и, соответственно, расстояния распространения энергии: а) для УНТ; б) конечное распределение температуры при сильном взрыве [1]

8.2. По определению ток I – это отношение заряда Q к длительности Δt его переноса через сечение проводника, то есть $I = Q/\Delta t$. В частности, при периоде электромагнитных колебаний Δt и $Q = 1,18 \times 10^{-11}$ кл сила тока составит:

– в начальный момент времени (высокая температура, порядка 10^{10} К) $\Delta t = 10^{-15}$ с – 1183 А;

– в конечный момент времени (температура порядка 4500 К) $\Delta t = 10^{-12}$ с – 11,8 А;

8.3. Проводимость плазмы [5] определяется по формуле $\sigma_{\text{УНТ}} = Z \times N_{\Sigma} / \tau$, где Z – заряд атома; N_{Σ} – число атомов; τ – длительность процесса. Это выражение получено на основе формулы определения силы тока $I = Q/\Delta t$.

Удельное сопротивление плазмы определяется через сопротивление проводника, то есть с учетом длины и площади сечения УНТ. В свою очередь, сопротивление УНТ определяется по закону Ома через ЭДС и силу тока. Площадь сечения проводника является кольцевая площадка произведения длины окружности на толщину атомного слоя 0,35 нм. Для такого тонкого кольцевого сечения удельное сопротивление будет меньше, по сравнению с удельным сопротивлением плазмы, так как процесс является направленным и развивается в одной атомной плоскости.

8.4. Частота электрических импульсов определяется следующими факторами: точностью бомбардировки альфа-частицами ядер углерода; частотой излучения альфа-частиц; числом излучателей альфа-частиц; длительностью подачи новых порций УНТ; точностью фокусировки излучения; числом рабочих блоков.

9. Для повышения вероятности слияния ядер при одиночном взаимодействии альфа-частицы и ядра углерода необходимо обеспечить высокую точность бомбардировки.

Полное сечение реакций мало и составляет примерно от 10^{-6} до 10^{-9} барн и менее. Поэтому для повышения вероятности слияния ядер, при одиночном взаимодействии, бомбардируемый атом углерода в головной фуллереновой части УНТ должен быть размещён в фокусе (точка С на рис. 7) или с некоторым смещением в зафокусную зону. При этом излучатели альфа-частиц располагаются под углом, учитывающим угол рассеяния излучения. Расстояние L должно быть не более 20 мм (см. п. 3 допущений).

10. Частота излучения альфа-частиц определяется также периодом полураспада радиоактивного элемента. В частности, для ^{238}U частота составляет примерно 8900 излучений в секунду. Для повышения эффективности работы установки (повышения

вероятности слияния ядер, а также возрастания частоты импульсных токов) можно использовать более интенсивные излучатели. Например, для ^{236}Pu частота составляет примерно $1,42 \times 10^{13}$ излучений в секунду, а период полураспада составляет 2,85 лет.

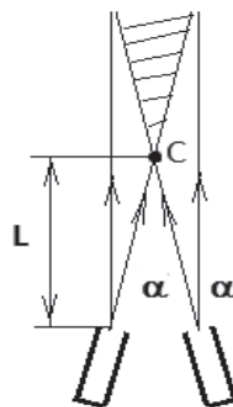


Рис. 7. Схема фокусировки излучения

Принцип работы и устройство установки

Устройство установки

Установка состоит из рабочего блока (рис. 8), в которой имеются графитовые крышка и дно (поз. 1), а стенка (поз. 2, 3) состоит из слюды. Крышка и дно являются одновременно электродами: плюс и минус. В верхней части крышки имеется отверстие для подачи углеродной нанотрубки (поз. 4) определенной длины. В боковой стенке из слюды (поз. 3) имеется полированная поверхность в форме жёлоба, по которой углеродная нанотрубка (УНТ) поступает в рабочую камеру под действием силы тяжести. Жёлоб определяет направленное движение УНТ и координированную фиксацию её головной фуллереновой части напротив отверстия, в которое направляется излучаемая альфа-частица (на рис. обозначены стрелками). Высота рабочей камеры определяется расстоянием между графитовыми электродами и может изменяться в зависимости от необходимой длины углеродной нанотрубки. В нижней части камеры находятся отверстия, через которые внутрь рабочей камеры попадают излучаемые альфа-частицы. Длина и ширина рабочей камеры определяются диаметром УНТ, а высота камеры определяется длиной трубки. УНТ имеет форму конуса. Атом находящийся в вершине конуса, бомбардируется альфа-частицами. Излучатель альфа-частиц ^{238}U находится на расстоянии не более 2 см от головной фуллереновой части УНТ. Установка может

состоять из одиночного блока и иметь пять излучателей (рис. 8). Установка также может состоять из секции блоков. В этом случае для каждого блока число излучателей уменьшится на три (рис. 9).

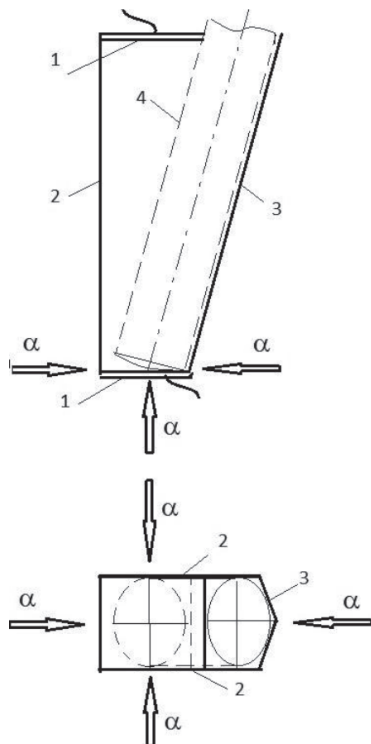


Рис. 8. Схема рабочего блока устройства

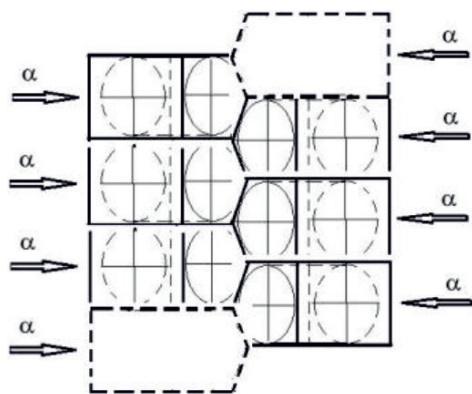


Рис. 9. Секция рабочих блоков

При последовательном соединении блоков суммируются разности потенциалов. При параллельном соединении блоков суммируется сила тока. Мощность установки при этом увеличивается. Частота импульсов также возрастает.

Принцип работы

В результате реакции (*) выделяется энергия [6] в виде электромагнитного импульса и ударной волны. Преобразование

выделившейся энергии в электрическую обеспечивается формированием электронной лавины, которая, в свою очередь, генерирует ЭДС. Температура образовавшейся плазмы регулируется числом атомов в углеродной нанотрубке, иначе говоря, длиной УНТ в рабочей камере. Например, если энергия реакции составляет 7,141 МэВ, то конечная температура, которая распространится на $1,23095 \times 10^7$ атомов, составит 4500 К. Это соответствует длине однослойной УНТ примерно 2,5 мкм. Учитывая, что поперечные размеры рабочей камеры соответствуют диаметру и длине УНТ, то внутренние габариты рабочей камеры составят примерно $100 \times 100 \times (2,5 \times 10^3)$ нм. Под действием силы тяжести на освобожденное место от испарившегося участка нанотрубки поступает её новый участок. Далее процесс повторяется циклически.

Заключение

Преимущества разработанного автономного источника электроэнергии: малые габариты; большая удельная мощность источника энергии; высокий потенциал повышения коэффициента полезного действия, так как нет промежуточного преобразования энергии; автономность работы; возможность изменять частоту импульсов и мощность за счет числа блоков в секции установки; возможность изменять силу тока и разность потенциалов за счет последовательного или параллельного соединения рабочих блоков в секции. Конструкция автономного источника электроэнергии является модульной (рис. 9), поэтому он может проектироваться и изготавливаться как для микро-, так и для макрообъектов.

Список литературы

1. Зельдович Я.Б. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений / Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. – М.: Наука. – 1966. – 686 с.
2. Калашников С.Г. Электричество / Калашников С.Г. – М.: Наука, 1977. – 592 с.
3. Кац Б.М. Пусковые системы авиационных газотурбинных двигателей / Кац Б.М., Жаров Э.С., Винокуров В.К. – М.: Машиностроение, 1976. – 367 с.
4. Плазма / Большая советская энциклопедия. 1969–1978. – Т. 19. – М.: Советская энциклопедия.
5. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Учеб. Пособие: Для вузов. В 5т. Т.3. Электричество. – 4-е изд. стереот. – М.: ФИЗМАТЛИТ; Изд-во МФТИ, 2005. – 690 с.
6. Таблицы физических величин / Под ред. акад. И.К. Кикоина // Справочник. – М.: Атомиздат, 1976. – 1008 с.
7. Трофимова Т.И. Курс физики [Текст] / Т. И. Трофимова // Учеб. Пособие для вузов. – 7-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2003. – 542 с.
8. Углеродные нанотрубки. Википедия. URL: <https://ru.wikipedia.org> (дата обращения: 06.06.17).
9. Элементы.ру/плакаты/мгновения. URL: <https://elementy.ru/posters/moment> (дата обращения: 06.06.17).