УДК 621.3 (075.3)

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕРЕХОДА ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ЦЕПЬ

Казьмин Б.Н., Трифанов И.В., Рыжов Д.Р., Бородулин Р.В., Хоменко И.И.

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Решетнева, Красноярск, e-mail: sibgau-uks@mail.ru

Каждый электрон, обладающий электрическим зарядом $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл, создает электрическое поле с энергией 511 кеВ. На отделение электрона от атома (молекулы) требуются единицы электрон-вольт, а направленное или колебательное движение электронов div (ρυ) = –∂ρ/∂t образует электромагнитный процесс [1]. Используя энергетические возможности электронов, можно создать высокоэффективный электроэнергетический процесс, превосходящий по всем параметрам современную топливо сжигающую электроэнергетическую технологию.

Ключевые слова: физико-математическая модель, переход энергии, электронный пучок

THE PHYSICAL-MATHEMATICAL MODEL TRANSITION ENERGY OF ELECTRON BEAM IN ELECTRIC CIRCUIT

Kazmin B.N., Trifanov I.V., Ryzhov D.R., Borodulin R.V., Khomenko I.I.

Siberian state aerospace university M. Reshetnev, Krasnoyarsk, e-mail: sibgau-uks@mail.ru

Electron has electric charge $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл creates an electric field with energy 511 keV. The separation of electron from the atom (molecule) are required units of electron-volts, and directional or oscillating electrons div (ρυ) = –∂ρ/∂t forms an electromagnetic process [1]. Using electron energy possibilities, you can create highly efficient electricity process, superior in all respects a modern electric power technology, fuel is burned.

Keywords: physical and mathematical model, the transition energy, the electron beam

Рассмотрим физико-математическую модель процесса производства энергии [2], путем преобразования в электроэнергию энергии потока электронной плазмы, созданную электродуговым плазматроном в скрещенном электрическом поле дуги и электронной пушки [2, 3, 4]. Под действием ускоряющего напряжения анода (*Ua*) электронной пушки, образуется поток (пучок) свободных электронов, получивших одинаковый анодный потенциал. Он направляется электрическим полем в выполненную из проводника первого рода [1, 4], рабочую полость поляризующегося электрода (РППЭ), в которой действует скрещенное электрическое поле. Радиальная составляющая ($\mathbf{E}_r$) этого поля, созданная двойным электрическим слоем на поверхности РППЭ, удерживает электроны в пучке, (напряженность поля в двойном электрическом слое составляет порядка 10^8–10^9 В/м [3], напряженность поля в пучке – 10^5–10^6 В/м). Продольная составляющая ($\mathbf{E}_l$) тормозит электроны, забирая у них энергию и повышая потенциал тормозящего поля поляризующегося электрода (ПЭ). Направление полей, токов и напряжений ПЭ и электрической цепи представлено на рисунке.

Требуемую мощность электродугового плазмотрона, ионизирующего рабочую среду, для создания необходимого потока электронной плазмы определяем из выражения [3,4]:

$$S_g = \frac{U_g \cdot I_g}{k_u}, \qquad (1)$$

где U_g – рабочее напряжение электрической дуги, порядка 50 В; I_g – сила тока электрической дуги, А. Для нормальной работы электроустановки I_g должна быть в 3–4 раза больше конвекционного тока потока электронной плазмы; $k_u = 0{,}5$–$0{,}65$ – коэффициент преобразования переменного напряжения электрической сети в постоянное напряжение.

Энергию электрона при движении в электрическом поле ПЭ можно описать выражением, используя уравнение движения электрона в потенциальном электрическом поле [1, 3].

$$eU = \frac{m_e(\upsilon_e)^2}{2}, \qquad (2)$$

где $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$– заряд электрона, Кл; U_a – напряжение (разность потенциалов) полученное электроном в потенциальном электрическом поле электронной пушки, В; eU – энергия электрона, получаемая от ускоряющего электрического поля, или, отдаваемая тормозящему электрическому полю, Дж; m_e – масса электрона, кг; υ_e – скорость движения электрона под действием электрического поля, электронной пушки, м/с; $\frac{m_e(\upsilon_e)^2}{2}$ – кинетическая энергия электрона, создаваемая за счет потенциальной энергии электрического поля, Дж.

В ускоряющем электрическом поле, электрон увеличивает скорость движения, и, со-

ответственно, свою кинетическую энергию за счет энергии поля. В тормозящем электрическом поле электрон уменьшает свою скорость движения, отдавая тормозящему полю свою энергию, тем самым увеличивая потенциал (напряжение) тормозящего поля.

В РППЭ образуется пучок электронной плазмы, который можно представить в виде матрицы электронов. Число строк матрицы соответствует количеству электронов в поперечном (радиальном) сечении пучка (N_{mr}), число столбцов матрицы – количество электронов в продольном сечении пучка (N_{ml}), количество электронов в матрице $N_{mr} = N_{mr} \cdot N_{ml}$.

Затраты энергии анодного поля электронной пушки на массоперенос электронов, образующих матрицу электронов [1, 3] и создание кинетической энергии электронов матрицы.

$$W_a = q_m \cdot U_a = N_m \cdot e \cdot U_a \leftrightarrow N_m \cdot m_e \cdot \upsilon_e^2 / 2 = W_{m\vartheta}, \quad (3)$$

где $\upsilon_e = (2 \cdot e \cdot U_a / m_e)^{1/2}$ – скорость движения электрона, полученная из уравнения $\left(e \cdot U_a = m_e \cdot \upsilon_e^2 / 2\right)$ движения электрона в электрическом поле [1];

Энергия взаимодействия электронов в матрице за счет силы Кулона $\mathbf{F_q} = e_i \cdot e_j / \varepsilon \cdot r_{ij}^2$ [1, 3]:

$$W_{mq} = N_m \cdot F_q \cdot r_{em} = ((N_m - 1)^2 \cdot e^2 / \varepsilon \cdot r_{em}^2) \cdot r_{em} = N_m^2 \cdot e^2 / \varepsilon \cdot r_{em}^2, \quad (4)$$

где $N_m >> 1$, поэтому выражение $(N_m - 1)^2 = N_m^2$; $\varepsilon = 4\pi\varepsilon_r\varepsilon_o$ – диэлектрическая проницаемость среды в матрице; ε_r и ε_o – относительная и абсолютная диэлектрическая проницаемости, соответственно; $r_{em} = \left(\left(\frac{l_m^2 + r_m^2}{2}\right)^{1/2} + r_{ij}\right) \Big/ 2$ – среднее расстояние между электронами в матрице, м; $r_{ij} = \left(e \cdot l_a / \varepsilon \cdot U_a\right)^{1/2}$ – среднее расстояние между соседними электронами в пучке, м; l_a – расстояние между катодом и выходным анодом электронной пушки (ЭП), м; l_m и r_m – длина и радиус электронного пучка (матрицы электронов), м; $E_a = U_a / l_a$ – напряженность электрического поля, создаваемая ЭП, В/м.

Энергия взаимодействия электронов в матрице за счет силы Лоренца [1, 3]:

$$W_{mB\vartheta} = N_m \cdot e \cdot [\mathbf{B_e} \times \boldsymbol{\upsilon}_\mathbf{e}] \cdot r_{ij} = \mu \cdot N_m^2 \cdot e^2 \cdot \upsilon_e^2 / 2 \cdot \pi \cdot r_{ij}, \quad (5)$$

где $\mathbf{B_e} = \frac{\mu \cdot I_e}{2 \cdot \pi \cdot r_{ij}} = \frac{\mu \cdot e \cdot \boldsymbol{\upsilon}_\mathbf{e}}{2 \cdot \pi \cdot r_{ij}^2}$ – индукция магнитного поля, создаваемая движущимся со скоростью $\boldsymbol{\upsilon}_e$ i-м электроном в соседнем j-м электроне, Тл; $\mu = \mu_r \cdot \mu_0$ – магнитная проницаемость среды в матрице, μ_r и μ_0 – относительная и абсолютная магнитная проницаемость; $\mathbf{I_e} = e \cdot \boldsymbol{\upsilon}_\mathbf{e} / r_{ij}$ – сила тока, создаваемая i-м электроном, движущимся к соседнему j-му электрону, А.

Пучок электронов образуется в результате динамического равновесия трех электрических сил, создающих в первом приближении одинаковое количество энергии. Сила анодного поля $\mathbf{F_a} = e \cdot \mathbf{E_a}$, ускоряет электроны и создает кинетическую энергию (3). Сила Кулона $\mathbf{F_q} = e_i e_j / \varepsilon r_{ij}^2$, создает энергию (4), а также ускоряет электроны в продольном направлении пучка. Сила Лоренца $\mathbf{F_{B\upsilon}} = e[\mathbf{B_e} \times \boldsymbol{\upsilon}_\mathbf{e}]$, действует в радиальном направлении пучка, создает энергию (5), удерживая энергию (4) в пучке.

Чтобы преобразовать энергию электронного пучка в электрическую цепь, осуществляют модуляцию электронного пучка рабочей частоты электрической цепи, путем подачи на выходной анод «А» электронной пушки соответствующего напряжения с электрической цепи. Затем воздействует на модулированный электронный пучок скрещенным электрическим полем, имеющим составляющие $\mathbf{E}_r$ и $\mathbf{E}_l$ рабочей частоты электрической цепи.

Радиальную составляющую $\mathbf{E}_r$, сжимающую электронный пучок можно создать с помощью соответствующей комбинации квадрупольных электронных линз [1,3]. В данном случае используется напряженность поля двойного электрического слоя в РП ПЭ. Продольную составляющую $\mathbf{E}_l$, тормозящую электроны, создают соответствующим напряжением ($U_{\text{МПЭ}}$) на мишени поляризующегося электрода (МПЭ). Регулированием напряжений U_a и $U_{\text{МПЭ}}$, регулируют количество передаваемой мощности в электрическую цепь и потребителям электроэнергии.

Под действием тормозящей составляющей скрещенного электрического поля кинетическая энергия электронов матрицы

(2) переходит в напряжение на мишени поляризующегося электрода

$$U_{m\upsilon} = \frac{W_{m\upsilon}}{N_{me}} = U_a = U_{\text{МПЭ}}. \quad (6)$$

Кроме того, энергии W_{mq} (4) и $W_{mB\text{э}}$ (5) электрического поля матрицы электронов, образованные за счет энергии электрического поля анода электронной пушки, создают дополнительное напряжение на ПЭ $U = W / q \Rightarrow W_m / q_m$ и напряженность поля ($\mathbf{E} = -grad(\varphi)$ или $U = \int Edl$ [4,5]). В продольном сечении матрицы электронов

$$U_{ml} = W_{mq} \cdot l_m / e \cdot N_m \cdot l_a \simeq U_a, \text{ при } l_m = l_a \quad (7а)$$

в радиальном сечении матрицы

$$U_{mr} = E_{B\upsilon} \cdot r_m = W_{mB\upsilon} / e \cdot N_{ml} \simeq U_a \quad (7б)$$

полное напряжение матрицы

$$U_m = U_{m\upsilon} + (U_{ml}^2 + U_{mr}^2)^{1/2} \simeq U_a((l_m^2 + r_m^2)^{1/2} + 1) = 2,4U_a \quad (8)$$

Конвекционный ток матрицы электронов [3]

$$\mathbf{I_{mq}} = \rho_m \cdot \boldsymbol{\upsilon}_\mathbf{e} \cdot S_{mr} = 3 \cdot e \cdot \upsilon_e \cdot r_m^2 / 4 \cdot r_{ij}^3 = 0,75 \cdot N_{mr} \cdot e \cdot \upsilon_e / r_{ij}, \quad (9)$$

где $\rho_m = \dfrac{3 \cdot e}{4 \cdot \pi \cdot r_i^3}$ – плотность заряда в матрице электронов, Кл/м; $S_{mr} = \pi \cdot r_m^2$ – площадь радиального сечения матрицы, м^2.

Конвекционный ток матрицы под воздействием скрещенного электрического поля рабочей частоты переходит в ток электропроводимости электрической цепи (ЭЦ) ПЭ.

$$I_{\text{ЭЦ}} = U_m \cdot Y_{\text{ЭЦ}} = U_m(g^2 + (b_L - b_C)^2)^{\frac{1}{2}}, \quad (10)$$

где g – активная проводимость электрической цепи (ЭЦ), См; $b_L = \dfrac{1}{\omega L}$ – индуктивная проводимость ЭЦ, См; $b_C = \omega C$ – емкостная проводимость ЭЦ, См; $\omega = 2\pi f$ – циклическая рабочая частота ЭЦ системы электроснабжения, Гц.

Согласно первого закона Кирхгофа [5] и закона сохранения электрического заряда $div\mathbf{j} = -\partial p / \partial t$ [1], сила этих токов в первом приближении одинаковая ($I_{mq} = I_{\text{ЭЦ}}$), так как это последовательно соединенные элементы одной и той же электрической цепи [5].

Мощность, создаваемая в ЭЦ ПЭ

$$S_{\text{ЭЦ}} = I_{\text{ЭЦ}}^2 \cdot Z_{\text{ЭЦ}} = I_{mq} U_m = U_m^2 \cdot Y_{\text{ЭЦ}}, \quad (11)$$

где $Z_{\text{ЭЦ}} = 1 / Y_{\text{ЭЦ}}$ – полное сопротивление и электропроводимость ЭЦ, соответственно.

Мощность, затрачиваемая на создание и массоперенос матрицы элементов

$$S_{m\text{затр}} = I_g \cdot U_g + I_{mq} \cdot U_a = 1,2 \cdot U_a \cdot I_{mq}, \quad (12)$$

где $I_g \simeq (3...4) I_{mg}$ – требуемая сила тока электрической дуги плазмотрона, А; $U_g = 0,05U_a = 30...50$ В – рабочее напряжение электрической дуги.

Коэффициент мощности – отношение получаемой мощности (8) к затраченной (12)

$$k_S = \frac{S_{\text{ЭЦ}}}{S_{m\text{затр}}} = \frac{2,4U_a I_{mq}}{1,2U_a I_{mq}} = 2 > 1. \quad (13)$$

Коэффициент мощностей, без учета потерь в трансформаторе, для данной модели может быть больше единицы, следовательно, рассмотренная физическая модель преобразования одной формы электричества в другую форму является генератором тока $I_{\text{ЭЦ}}$ (10).

При работе генератора под нагрузкой, необходимо создавать режим резонанса токов ($I_L = I_C$) [5]. Этот режим компенсирует реактивную мощность в электрической цепи, повышая cos φ практически до единицы, улучшает форму колебаний, снижая потери энергии, высшими гармониками, а также позволяет уменьшить рабочий ток ПЭ. Все это приводит к увеличению эффективности и срока службы генератора.

Оптимальное сопротивление ЭЦ для получения максимального кпд – 50% с помощью данной физической модели преобразования энергии квазистатического электричества электронного пучка в электрическую мощность ЭЦ.

$$Z_{\text{ЭЦ}} = U_m / I_{mq}. \quad (14)$$

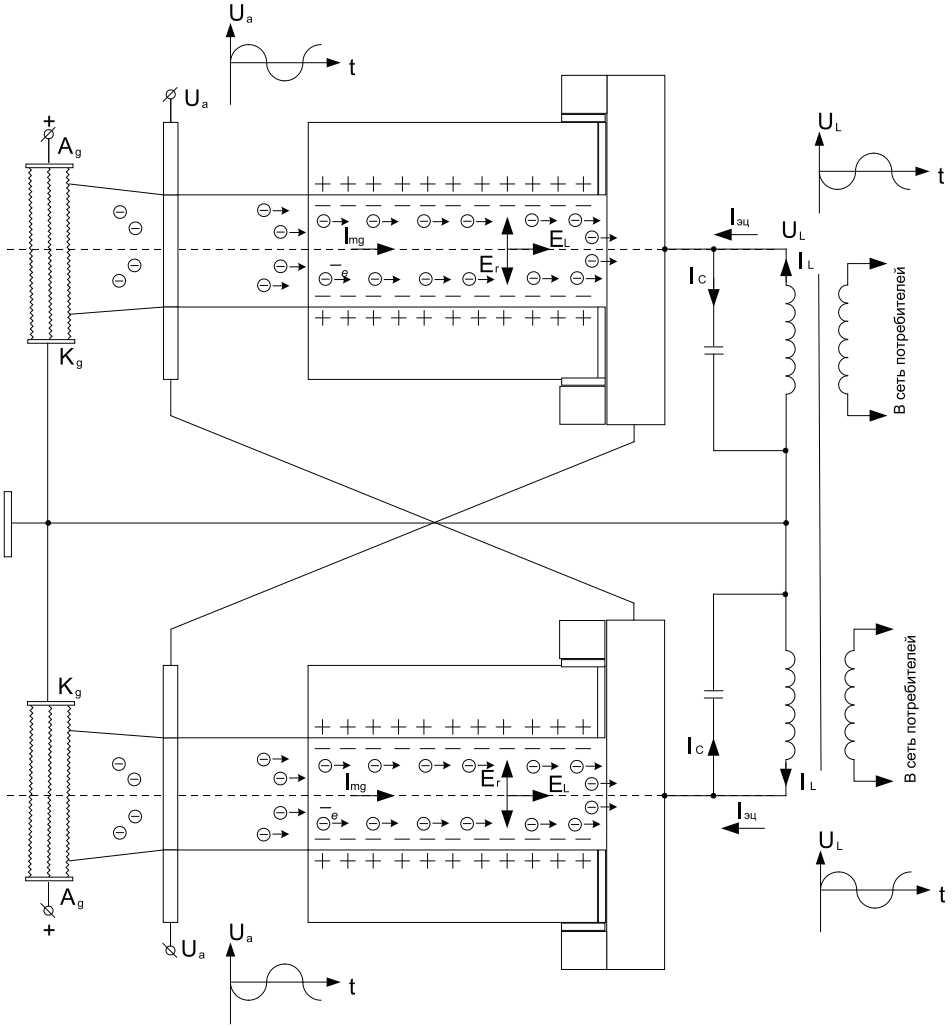
Физическая модель процесса перехода энергии электронного пучка в электроэнергию представлена на рисунке.

Под воздействием скрещенного электрического поля поляризующегося электрода переходит энергия электронного пучка в электрическую цепь.

Совершив работу в электрической цепи, электроны приходят на катод электродугового плазматрона, где рекомбинируют катионы в атомы и молекулы рабочей среды, вновь подвергаемой ионизации электрической дугой в герметичном объеме плазматрона. Многократно подвергаясь ионизации – рекомбинации и, выполняя работу в электрической цепи, электроны при этом не разрушаются (электрон стабильная частица, время его жизни порядка лет [1]) не расходуется рабочая среда, не образуются

вредные отходы и выбросы, свойственные топливо сжигающей электроэнергетике.

На основе представленной физической модели, можно создать высокоэффективный генератор электрической энергии и электродинамические двигатели [2, 4, 6, 7, 8]. Они смогут работать на суше, в воде, в воздухе и в безвоздушном пространстве, не сжигая традиционное топливо, не образуя вредные выбросы и отходы, негативно воздействующие на персонал и окружающую среду.



Физическая модель процесса перехода энергии электронного пучка в электроэнергию

Заключение

На основе широко известных свойств и параметров заряженных частиц, а также законов их взаимодействия, составлена физическая модель процессов преобразования электричества, которая при определенных режимах работы может стать генератором электроэнергии. Основные положения разработанной модели следующие:

1. Электрон и одновалентный катион, обладающий элементарным электрическим зарядом $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл, является источником электрического поля с энергией 511 кеВ.

2. Энергия ионизации атома (молекулы) любого вещества в 10^4–10^5 раз меньше энергии электрического поля свободного электрона, получаемого в результате ионизации.

3. Используя существенную разность этих энергий, строится физическая модель процесса получения электроэнергии из потока (пучка) электронной плазмы.

4. Ионизация рабочей среды осуществляется электрической дугой. Для получения промышленных мощностей потребуется соответствующая сила тока – десятки, сотни, тысячи ампер. Такую силу тока невозможно создать термо- или фотокатодом.

5. Ионизация рабочей среды в электрическом поле «электронной пушки», скрещенном с полем электрической дуги, превращает нейтральную рабочую среду

в пучок электронной плазмы, представленный в виде матрицы электронов, получивших, в первом приближении, одинаковый электрический потенциал анодного поля электронной пушки.

6. В матрице электронов сосредоточено три вида энергии: кинетическая энергия электронов, созданная силой электрического поля и энергия электронного взаимодействия, созданная динамическим равновесием сил Кулона и сил Лоренца. Значения этих составляющих энергии в первом приближении, можно считать одинаковыми, так как электронный пучок находится в динамическом равновесии.

7. Энергия матрицы электронов, под воздействием скрещенного электрического поля, поляризующегося электрода, преобразуется в электрическую энергию, передаваемую в сеть потребителей.

8. Радиальная составляющая скрещенного электрического поля удерживает пучок электронов в сжатом состоянии за счет напряженности поля двойного электрического слоя на поверхности рабочей полости поляризующегося электрода, так как напряженность поля двойного электрического слоя на два – три порядка превышает напряженность поля в пучке электронов.

9. Продольная составляющая скрещенного электрического поля тормозит электроны, превращая их кинетическую энергию и энергию электронного взаимодействия сил Кулона и Лоренца, в потенциал (разность потенциалов) электрического поля поляризующегося электрода.

10. В скрещенном электрическом поле осуществляется, путем двухполупериодного преобразования, переход конвекционного тока матрицы электронов в ток электропроводимости и энергии электронного пучка в соответствующую мощность электрической цепи в режиме резонанса индуктивных и емкостных токов ($I_L = I_C$) электрической цепи потребителей электроэнергии.

11. Применение скрещенного электрического поля в данной модели для получения, удержания и преобразования электронной плазмы в электроэнергию более эффективно, энергетически, материально менее затратно и технически проще, чем использование скрещенных электрического и магнитного полей, например, в МГД-генераторах, или в ионно- и электронно-лучевых установках с магнитной фокусировкой и управлением луча.

12. Используя энергетические параметры электронов и энергию их взаимодействия, возможно создание высокоэффективных экологически чистых электроэнергетических процессов, превосходящих современные технологии производства электроэнергии, основанные на энергетике сжигаемого топлива – углеводородного, химического, ядерного.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физическая энциклопедия в 4 т. – М.: Большая Российская Энциклопедия, 1989–1994.

2. Казьмин Б.Н. Способ производства энергии: патент RU № 2262793. – Бюл. 29, 20.10.2005.

3. Энциклопедия низкотемпературной плазмы т. 2. – М.: Наука, 2000.

4. Казьмин Б.Н., Трифанов И.В. О возможности перехода энергии электронного взаимодействия в энергию электромагнитного процесса // Альтернативная энергетика и экология. – 2012. – № 2.

5. Шимони К. Теоретическая электротехника. – М.: Мир, 1964.

6. Казьмин Б.Н., Трифанов И.В. Об электронном генераторе электроэнергии // Вестник Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та: сб. науч. тр. – Вып. 1 (34). – Красноярск, 2011. – С. 25–28.

7. Казьмин Б.Н., Трифанов И.В. и др. Электродинамический движитель: патент RU, № 2453972. – Бюл. № 17, 20.05.2012.

8. Казьмин Б.Н., Трифанов И.В., Ковальчук В.Б., Рыжов Д.Р., Хоменко И.И. Экспериментальная проверка перехода энергии взаимодействия электронной плазмы в электромагнитный процесс для создания электроэнергетической технологии // Альтернативная энергетика и экология. – 2012. – № 11.