

КОСВЕННЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ТЕРМОЭМИССИОННОГО РЕАКТОРА-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

А.И. Брежнев, Е.Г. Виноградов, В.А. Линник, М.К. Овчаренко,

А.П. Пышко, Ю.С. Юрьев, В.И. Ярыгин

ГНЦ РФ – Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского, г. Обнинск



Описан способ определения коэффициента полезного действия термоэмиссионного реактора-преобразователя по трем вольт-амперным характеристикам (одной изотермической и двум изомощностным) и отношению показаний датчика нейтронного потока, соответствующего изомощностной вольт-амперной характеристике. Предложен алгоритм измерения вольт-амперных характеристик. Получены формулы для определения коэффициента полезного действия, тепловой мощности реактора-преобразователя, работы выхода электронов эмиттера.

Ключевые слова: термоэмиссионный реактор-преобразователь, тепловая мощность, КПД, детекторы нейтронного потока, вольт-амперная характеристика.

Key words: thermionic reactor, thermal power, efficiency, neutron flux detectors, current-voltage characteristic (JVC).

ВВЕДЕНИЕ

Определение коэффициента полезного действия реактора-преобразователя тепловой энергии в электрическую представляет собой очень важную задачу при исследовательских испытаниях и эксплуатации ядерной энергетической установки. Она может быть решена прямыми тепловыми измерениями тепловой мощности реактора с привлечением калориметрических измерений, методом расчетов нейтронного потока и других излучений, но эти прямые методы трудоемки и дорогостоящие. Применяемые на практике прямые методы могут дать оценку тепловой мощности реактора лишь с точностью около 15%. Предлагаемый метод прост и имеет точность порядка 3%.

Рассматриваемый некалориметрический метод был изобретен в 60-х гг. прошлого века [1, 2]. В статье приводится его обоснование и указано на применение его аналогов в практике петлевых испытаний термоэмиссионных электрогенерирующих каналов.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ МЕЖДУ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ И ИЗОМОЩНОСТНОЙ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

В первых теоретических и экспериментальных работах по физике низкотемпературной плазмы термоэмиссионного преобразователя (ТЭП) в качестве основного параметра принималось граничное условие – температура эмиттера есть величина постоянная ($T = \text{const}$, изотермические вольт-амперные характеристики (ВАХ), рис. 1).

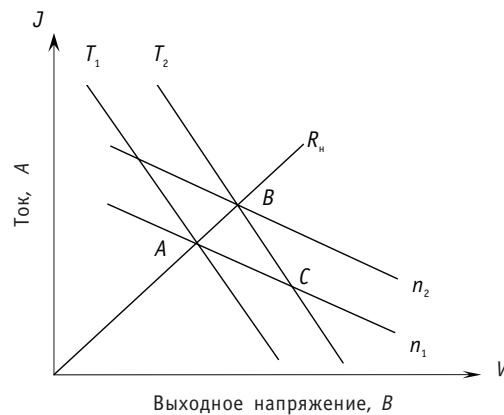


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики термоэмиссионного реактора-преобразователя, используемые в определении коэффициента полезного действия: n_1, n_2 – изомощностные характеристики; R_n – характеристика при постоянном электрическом сопротивлении внешней нагрузки в точках A и B пересечения соответствующих изомощностных вольт-амперных характеристик; T_1, T_2 – изотермические характеристики; C – точка пересечения вольт-амперных характеристик (изотермической с температурой эмиттера T_2 и изомощностной с мощностью реактора, соответствующей показанию n_1 датчика нейтронного потока)

Изотермические вольт-амперные характеристики фиксируются путем «быстрого» переключения полезной нагрузки от точки «короткого замыкания» (минимальная нагрузка) до точки «холостого хода» (электродвижущая сила) [1, 2] и обратно.

Работа ТЭП полностью определяется заданием следующих параметров: T, T_c – температура электродов ТЭП, эмиттера и коллектора соответственно; P_{cs} – давление паров цезия; d – межэлектродный зазор (МЭЗ); φ, φ_c – работа выхода электронов с эмиттера и коллектора соответственно.

Далее для простоты рассмотрения будем полагать, что все параметры кроме температуры эмиттера фиксированны. При этих допущениях зависимость электрического тока от выходного напряжения имеет следующий вид, присущий изотермической ВАХ [3]:

$$J = F(V, T), \quad (1)$$

где J – полный электрический ток; F – функция двух аргументов: выходного напряжения V и температуры эмиттера T .

Следует обратить внимание, что электрический ток J в (1) явно не зависит от тепловой мощности Q термоэмиссионного реактора-преобразователя (ТРП).

Для того чтобы получить зависимость тока J от напряжения V при постоянной подводимой тепловой мощности Q , строились так называемые изомощностные ВАХ с использованием уравнения теплового баланса энергии для эмиттера ТРП

$$Q = Q_T + \varphi \cdot J \quad (2)$$

(Q_T – составляющая теплосъема с эмиттера за счет излучения и теплопроводности; произведение $\varphi \cdot J$ – теплосъем с эмиттера за счет электронного переноса; φ – эффективная работа выхода эмиттера) и изотермических ВАХ (1).

Однако уже в первых работах по анализу характеристик ТРП было показано, что в этом случае одним из основных параметров, определяющих его эффективность, является тепловая мощность Q . Поэтому обычно в проектах по ТРП получали сначала изомощностные ВАХ, а с помощью изотермических ВАХ обычно рассчитывали и усредняли при этом температуру эмиттеров [1].

Таким образом, в теоретических и экспериментальных работах при исследовании характеристик лабораторных ТЭП в качестве основного параметра принимается температура эмиттера T , а в проектных и петлевых реакторных исследованиях – тепловая мощность Q .

Далее устанавливается связь между этими интегральными ВАХ.

Сначала установим связь между тангенсами углов наклона изотермической ($T = \text{const}$) и изомощностной ($Q = \text{const}$) вольт-амперными характеристиками. Для этого используем выражение теплового баланса энергии (2) для эмиттера ТРП и уравнение (1) для изотермической ВАХ.

Продифференцировав равенства (1) и (2), получим

$$dJ = \frac{\partial F}{\partial V} \cdot dV + \frac{\partial F}{\partial T} \cdot dT, \quad (3)$$

$$dQ = \frac{\partial Q_T}{\partial T} \cdot dT + \varphi \cdot dJ. \quad (4)$$

На изотермической ВАХ дифференциал температуры эмиттера равен нулю, т.е. $dT = 0$, и из равенства (3) имеем соотношение

$$\left(\frac{dJ}{dV} \right)_{T=\text{const}} = \frac{\partial F}{\partial V}, \quad (5)$$

которое определяет наклон изотермической ВАХ.

На изомощностной ВАХ дифференциал тепловой мощности реактора равен нулю, т.е. $dQ = 0$, и из уравнения (4) получаем связь

$$dT = -\varphi \cdot \frac{dJ}{\frac{\partial Q_T}{\partial T}} \quad (6)$$

между дифференциалами температуры эмиттера и электрического тока ТРП.

Подставляя выражение (6) в равенство (3), после группировки членов получаем выражение

$$\left(\frac{dJ}{dV} \right)_{Q=\text{const}} = \frac{\frac{\partial F}{\partial V}}{1 + \varphi \cdot \frac{\frac{\partial F}{\partial T}}{\frac{\partial Q_T}{\partial T}}}, \quad (7)$$

которое характеризует тангенс угла наклона изомощностной ВАХ.

Используя соотношения (1) и (5), из (7) получим равенство

$$\left(\frac{dJ}{dV} \right)_{Q=\text{const}} = \frac{\left(\frac{dJ}{dV} \right)_{T=\text{const}}}{1 + \varphi \cdot \frac{\frac{\partial F}{\partial T}}{\frac{\partial Q_T}{\partial T}}}, \quad (8)$$

которое дает связь между тангенсами углов наклона изомощностной и изотермической вольт-амперных характеристик в точке их пересечения.

При малой теплопроводности МЭЗ ($\partial Q_T / \partial T \rightarrow 0$) получаем $\left(\frac{dJ}{dV}\right)_a \rightarrow 0$, т.е. изомощностная ВАХ горизонтальна.

При большей теплопроводности МЭЗ ($\partial Q_T / \partial T \rightarrow \infty$) получаем равенство $\left(\frac{dJ}{dV}\right)_a = \left(\frac{dJ}{dV}\right)_r$, т.е. изомощностная ВАХ совпадает с изотермической.

При промежуточном значении теплопроводности МЭЗ изомощностная ВАХ располагается между изотермической ВАХ и горизонталью.

Таким образом, установлено, что в системе координат V – J (напряжение – электрический ток ТРП) изомощностная ВАХ не выше изотермической, а формулы (5) и (7) определяют тангенсы углов наклона изотермической и изомощностной вольт-амперных характеристик в точке их пересечения.

Тангенс угла наклона изотермической ВАХ определяется частной производной по напряжению функциональной зависимости F от температуры эмиттера и напряжения ТРП (1), а тангенс угла наклона изомощностной ВАХ определяется через тангенс угла наклона изотермической ВАХ, эффективную работу выхода эмиттера ϕ и отношение частных производных по температуре T функций F и Q_T .

Можно также отметить, что тангенс угла наклона изомощностной ВАХ определяется через тангенс угла наклона изотермической и отношение частных производных по температуре слагаемых теплового баланса (2), т.к. $\phi J = \phi F$.

Из формулы (8) следует, что зная углы наклона изотермических и изомощностных характеристик ВАХ и используя зависимости F и Q_T от температуры эмиттера, можно определить эффективную работу выхода эмиттера ϕ ТРП.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ТЕРМОЭМИССИОННОГО РЕАКТОРА-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Ранее в [2] было установлено, что набор изотермических и изомощностных ВАХ содержит дополнительную информацию, которую при некоторых допущениях можно использовать для определения коэффициента полезного действия ТРП. Обычно принято, что для определения коэффициента полезного действия (КПД) нужно знать полезную электрическую мощность, которая равна произведению тока и выходного напряжения ТРП, и затраченную тепловую мощность Q , тогда КПД равен отношению полезной электрической мощности к затраченной тепловой мощности.

Полезная электрическая мощность рассчитывается по току и напряжению, для определения которых используются цифровые приборы (вольтметр и амперметр).

Тепловая мощность обычно определяется или по градуированным заранее характеристикам датчиков нейтронного потока (например, типа КНТ, КВТ или ДПЗ) около ТРП, или по тепловому балансу контура охлаждения ТРП; в последнем случае необходимо дополнительно определить подогрев теплоносителя в активной зоне и его расход.

При прямом методе определения тепловой мощности, связанном с градуированием характеристик датчиков нейтронного потока, требуются знания геометрии расчетной области реактора, ядерных концентраций материалов, умение пользоваться программами, например, кодом MCNP, для решения задачи в трехмерной геометрии. Подготовка таких данных отнимает много времени и сил высококвал-

лифицированных специалистов, при этом точность определения тепловой мощности не очень высокая ($\pm 15\%$).

Однако в условиях ТРП эти два способа могут отказать или дать большую погрешность определения КПД, поэтому в качестве дополнительного способа определения КПД целесообразно использовать предлагаемый нами косвенный метод.

Его идея состоит в том, что если по данным измерений мы имеем показания нейтронного потока n_1 и n_2 , которые соответствуют абсолютным значениям тепловой мощности ТРП Q_1 и Q_2 , и если связи между абсолютными значениями тепловыделения Q и нейтронного потока n искажены и неточны, то их отношения примерно одинаковы:

$$\frac{n_1}{n_2} \cong \frac{Q_1}{Q_2}, \quad (9)$$

что может быть использовано при косвенном определении КПД. Справедливость соотношения (9) доказана на практике [4]. Его использование уменьшает погрешность определения параметров ТРП. Так если определять тепловую мощность ТРП через отношение показаний детектора нейтронного потока, то тепловая мощность ТРП находится с относительной погрешностью $\pm 3\%$. При определении тепловой мощности ТРП только по абсолютным показаниям детекторов нейтронного потока относительная погрешность составляет $\pm 25\%$, которая может быть уменьшена до $\pm 15\%$ только при наборе большего количества экспериментальных данных.

Из соотношений (9) следует выполнимость равенств

$$\frac{n_1}{Q_1} = \frac{n_2}{Q_2} = k_0, \quad (10)$$

где n_1 и n_2 – значения показаний датчиков нейтронного потока для первой и второй изомощностных характеристик; Q_1 и Q_2 – соответствующие значения тепловой мощности ТРП; k_0 – коэффициент пропорциональности между нейтронным потоком и тепловой мощностью.

Из аддитивного свойства логарифма $\ln n = \ln(k_0 Q) = \ln k_0 + \ln Q$ и постоянства коэффициента пропорциональности k_0 будут справедливы соотношения

$$\frac{d \ln Q}{dJ} = \frac{d \ln n}{dJ} = \frac{d \ln i}{dJ}, \quad (11)$$

где J – электрический ток ТРП; i – ток ДПЗ, который пропорционален плотности потока нейтронов в месте установки детектора прямого заряда.

Соотношения (11) будут использованы для определения теплофизических параметров ТРП.

Ранее выполнимость равенства (10) только предполагалась, но в настоящее время она проверено экспериментально и его можно теперь использовать в методике определения тепловой мощности ТРП, а в дальнейшем – при создании электронного прибора для определения КПД термоэмиссионного реактора-преобразователя, в том числе и на этапе летно-конструкторских испытаний.

Для косвенного определения КПД ТРП требуются изомощностные и изотермические ВАХ ТРП. Для их получения нами предлагается следующий алгоритм регистрации ВАХ.

Прежде всего требуется экспериментально получить набор ВАХ, подобных показанным на рис. 1.

Порядок регистрации ВАХ ТРП следующий.

1. Исходная точка A на ВАХ ТРП (или ЭГК). Фиксируются показания нейтронного датчика n_1 , напряжение на внешней нагрузке V_A и электрический ток ТРП J_A .
2. Не изменяя мощность ТРП (n_1) «медленно» регистрируется часть характери-

стики АС. В точке С имеем следующие параметры: напряжение V_C ток J_C («медленно» означает, что при смене сопротивления внешней нагрузки требуется время для установления температуры T_2).

3. В точке С регистрируется изотермическая ВАХ в направлении от холостого хода ($J=0$ на изотермической ВАХ T_2) к точке короткого замыкания ($V=0$ на изотермической ВАХ T_2), т.е. от точки С к В (развертка изотермической ВАХ).

4. Из точки С «медленно» возвращаемся в точку А при постоянной мощности n_1 .

5. Не изменяя внешней нагрузки R_H , поднимаем мощность ТРП до значения n_2 ($n_2 > n_1$), тем самым переходим в точку В, регистрируются параметры точки В (V_B, J_B, T_2), где В – точка пересечения прямой внешней нагрузки и изотермы T_2 .

6. «Быстрым» переключением нагрузки (в течение нескольких миллисекунд, чтобы тепловые процессы, длящиеся десятки секунд, не внесли изменений в ТЭП) регистрируется участок ВС изотермической ВАХ в направлении от точки короткого замыкания к точке холостого хода.

7. Сравниваются ВАХ прямого и обратного хода для подтверждения режима работы ТРП (ЭГК).

Параметры треугольника АВС (рис. 1) содержат дополнительную информацию:

- в точке В тепловая мощность ТРП описывается уравнением

$$Q_B = Q_T + J_B \cdot \varphi, \quad (12)$$

где Q_T – теплосъем излучением и теплопроводностью; $J_B \cdot \varphi$ – теплосъем за счет электронного охлаждения эмиттера ТРП; φ – эффективная работа выхода эмиттера;

- в точке С по аналогичной (12) формуле

$$Q_C = Q_T + J_C \cdot \varphi, \quad (13)$$

где $J_C \cdot \varphi$ – теплосъем за счет электронного охлаждения эмиттера ТРП.

Составляющая теплосъема излучением и теплопроводностью Q_T и эффективная работа выхода эмиттера φ в формулах (12) и (13) совпадают, поскольку точки В и С принадлежат одной изотерме T_2 , тогда разность тепловой мощности ($Q_B - Q_C$) для точек В и С равна

$$Q_B - Q_C = \varphi(J_B - J_C) = Q_B \left(1 - \frac{Q_C}{Q_B} \right). \quad (14)$$

В соответствии с (9) верно равенство

$$\frac{Q_C}{Q_B} \cong \frac{n_1}{n_2} \quad (15)$$

для отношения тепловой мощности ТРП в точках В и С.

И тогда из второго равенства в (14), используя (15), получаем формулы

$$Q_B \cong \frac{\varphi_B (J_B - J_C)}{1 - \frac{n_1}{n_2}} = \frac{\varphi (J_B - J_C)}{n_2 - n_1} n_2 = \frac{1}{\delta} \cdot n_2, \quad (16)$$

где коэффициент $\delta = \frac{n_2 - n_1}{\varphi_B (J_B - J_C)}$ показывает отношение приращений показаний датчика нейтронного потока к изменению электронного охлаждения эмиттера в состояниях В и С ТРП для вычисления абсолютного значения тепловой мощности ТРП в точке В.

Используя (16), определяем КПД ТРП в точке В по формуле

$$\eta_B \equiv \frac{J_B V_B}{Q_B} = \frac{J_B V_B \left(1 - \frac{n_1}{n_2}\right)}{\varphi (J_B - J_C)}, \quad (17)$$

где η_B – КПД ТРП в состоянии, соответствующем точке B его вольт-амперной характеристики.

В формуле (17) можно увидеть логарифмическую производную показаний нейтронного потока по электрическому току ТРП, т.к.

$$\frac{1 - \frac{n_1}{n_2}}{J_B - J_C} = \frac{\frac{n_2 - n_1}{n_2}}{J_B - J_C} \approx \frac{d \ln n}{dJ} \Big|_B. \quad (18)$$

В [2] предполагается, что эффективная работа выхода эмиттера ТРП заранее известна. Однако ее можно определить из данных регистрации ВАХ (см. (7)).

По измеренным значениям производных $\left(\frac{dJ}{dV}\right)_Q$ и $\left(\frac{dJ}{dV}\right)_T$ (тангенсы углов наклона изомощностной и изотермической ВАХ), зная температурные зависимости $\frac{\partial F}{\partial T}$ или $\frac{\partial J}{\partial T}$ и $\frac{\partial Q_T}{\partial T}$, можно определить эффективную работу выхода эмиттера ТРП:

$$\varphi = \left(\frac{\frac{dJ}{dV} \Big|_T - 1}{\frac{dJ}{dV} \Big|_Q} \right) \cdot \frac{\frac{\partial Q_T}{\partial T}}{\frac{\partial J}{\partial T}}. \quad (19)$$

В то же время из уравнений (12) и (13) теплового баланса ТРП (ЭГК) находим значение эффективной работы выхода эмиттера по формуле

$$\varphi = \frac{dQ}{dJ} \Big|_{T=\text{const}} \equiv \frac{\Delta Q}{\Delta J} \Big|_{T=\text{const}} = \frac{Q_B - Q_C}{J_B - J_C}. \quad (20)$$

Равенство (20) на изотермической ВАХ справедливо для любых пар точек вольт-амперной характеристики, так как по равенству (2) функция Q линейна по переменной J .

Определяя работу выхода эмиттера φ по формуле (19) и используя связь (20), находим разность тепловой мощности ТРП при постоянной внешней нагрузке преобразователя в точках B и A ($\Delta Q|_R$) и в точках B и C ($\Delta Q|_T$) на изотермической ВАХ при различных значениях n_1 и n_2 мощности ТРП по формуле

$$\Delta Q|_R = \Delta Q|_T = \varphi (J_B - J_C). \quad (21)$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОЙ МОЩНОСТИ ТРП ПО ДОЛЕ ЭЛЕКТРОННОГО ПЕРЕНОСА ЭНЕРГИИ В ТЕПЛОМ БАЛАНСЕ ЭМИТТЕРА

Как отмечалось выше, в проектных работах по созданию ТРП исследователю целесообразно оперировать тепловой мощностью. Поэтому для конкретной конструкции ТРП удобнее записать расчетную изомощностную ВАХ в аналитическом виде

$$J = J_0 (Q / Q_0)^p (V_{xx} - V) / V_{xx}, \quad (22)$$

где J – генерируемый ток ТРП; J_0 , Q_0 – постоянные обезразмеривания; p – безраз-

мерный параметр; V_{xx} – напряжение холостого хода изомощностной ВАХ ТРП; V – напряжение на внешней нагрузке.

В формуле (22) введена явная зависимость электрического тока J ТРП от его тепловой мощности Q .

Уравнение (22) имеет вид прямой, которая аппроксимирует истинную ВАХ. Из уравнений (22) и (2) определим тангенс угла наклона изомощностной (k_Q) и изотермической (k_T) ВАХ в точке их пересечения:

$$k_Q = \left. \frac{dJ}{dV} \right|_{Q=\text{const}} = -\frac{J}{V_{xx} - V}, \quad (23)$$

$$k_T = \left. \frac{dJ}{dV} \right|_{T=\text{const}} = k_Q \cdot \frac{1}{1 - \frac{J\phi}{Q} \cdot p} \cdot \left[1 + \left(\frac{k_T}{k_Q} - 1 \right) \cdot \frac{V}{V_{xx}} \right]. \quad (24)$$

Найдем отношение тангенсов углов наклона ВАХ из равенства (24). В первом приближении оно равно

$$\frac{k_Q}{k_T} = 1 - p \cdot \mu, \quad (25)$$

где $\mu = \frac{J\phi}{Q}$ – доля электронного переноса энергии в МЭЗ.

Используя формулу (25), получим долю электронного переноса энергии в МЭЗ

$$\mu = \frac{1 - \frac{k_Q}{k_T}}{p}. \quad (26)$$

Чтобы определить долю μ электронного переноса энергии в МЭЗ, надо знать показатель p в формуле (22).

Определение параметра p можно провести следующим образом.

Используя формулы (8) и (25), получим

$$\frac{1}{1 + \frac{\frac{\partial J}{\partial T} \cdot \frac{\phi}{\frac{\partial Q_T}{\partial T}}}} = 1 - p\mu. \quad (27)$$

Учитывая, что $Q_T = Q - J\phi$, (27) преобразуем к виду

$$\frac{1}{1 + \frac{1}{\frac{\phi}{\partial J} - 1}} = 1 - p \frac{J\phi}{Q}. \quad (28)$$

Путем дальнейших упрощений из равенства (28) находим выражение для p :

$$p = \frac{Q}{J} \frac{\partial J}{\partial Q} = \frac{\partial \ln J}{\partial \ln Q} = \frac{\Delta J / J}{\Delta Q / Q}. \quad (29)$$

Как видим, параметр p в изомощностной ВАХ (22) характеризует относительное изменение электрического тока J ТРП по относительному изменению тепловой мощности Q . Показатель степени $p = \text{const}$ определяется для любой точки ВАХ при изменении тепловой мощности на величину ΔQ по изменению тока на величину ΔJ . По измеренным значениям ΔJ определяют $\Delta Q = \phi \Delta J$ (см. (21)), Q (см. (16)).

В экспериментах по изучению ВАХ лабораторного ТЭП или в составе петлевого канала при реакторных испытаниях ЭГК удается зарегистрировать характеристики только в небольшом интервале изменения выходного напряжения, вследствие чего они имеют вид отрезка прямой. Информативность таких характеристик может быть повышена, если в одном эксперименте регистрировать одновременно кривые равной мощности (изомощностные ВАХ) и изотермические ВАХ испытуемых термоэмиссионных устройств.

Отметим, что формула (26) была проверена нами для вакуумного и дугового режимов работы лабораторного ТЭП с использованием аналитических формул [3].

Зная долю электронного переноса, определяем тепловую мощность ТРП и его КПД по формулам

$$Q = \frac{J\phi}{\mu}, \quad (30)$$

$$\eta = \frac{V\mu}{\phi}. \quad (31)$$

Проведенные исследования показывают возможность дальнейшего развития и использования предложенного в [2] метода определения некоторых тепловых параметров ТЭП / ЭГК/ ТРП по коэффициентам наклона изомощностных и изотермических характеристик в точках их пересечения. Предложенная формула (22) справедлива во всех режимах работы ТЭП (от вакуумного до дугового) при условиях, что термоэмиссионное (токовое) охлаждение эмиттера зависит от тока линейно, а изотермические и изомощностные вольт-амперные характеристики в области их пересечения прямолинейны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в результате исследований связи между коэффициентами наклона изомощностной и изотермической ВАХ формулы для работы выхода эмиттеров, КПД и тепловой мощности вместе с алгоритмом регистрации ВАХ позволяют без больших затрат проводить определение КПД и тепловой мощности реактора-преобразователя тепловой энергии в электрическую.

Применение на практике разработанной методики косвенного определения КПД, тепловой мощности ТРП и работы выхода эмиттеров дало надежные результаты.

Литература

1. Bondarenko I.I., Malikh V.A., Pupko V, Ya., Stakhanov I.P., Yu. S. Yurev, e.s. Theoretical and Experimental Investigations Connected with Development of Thermionic Reactor-Converters. Third United Nations International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy -A/CONF.28/P/317 USSR, Geneva, May 1964.
2. Юрьев Ю.С. Способ определения тепловых параметров термоэмиссионного преобразователя. А.с. 277045. Заявлено 14. 10. 1968 (№ 1276774/26 – 25). Опубликовано 22. 07. 1970. Бюллетень № 24.
3. Стаханов И. П., Степанов А.С., Пащенко В.П., Гуськов Ю.К. Плазменное термоэмиссионное преобразование энергии. – М.: Атомиздат, 1968. – 392 с.
4. Давыдов А.А., Еремин С.А., Королев В.У. и др. Сравнительный анализ методов определения тепловой мощности термоэмиссионных электрогенерирующих каналов при петлевых реакторных испытаниях. Ракетно-космическая техника. Серия XII. Выпуск 1 – 2. Составитель Синявский В.В., 1998. – С. 162.

Поступила в редакцию 10.05.2011

ABSTRACTS OF THE PAPERS

УДК 621.039.5: 621.362

Indirect Method of Determining the Efficiency of a Thermionic Reactor for Space | A.I. Brezhnev, E.G. Vinogradov, V.A. Linnik, M.K. Ovcharenko, A.P. Pyshko, Yu.S. Yuryev, V.I. Yarygin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 9 pages, 1 illustration. – References, 4 titles.

The method of determining the efficiency of the space nuclear thermionic power plant by the set of current-voltage characteristics without the direct measurement of the reactor thermal power, yet with fixing the relative thermal power for various current-voltage characteristics is described.

УДК 621.039.51

On ADS Subcritical Reactor Operation in the Reactivity Modulation Mode | A.V. Gulevich, O.F. Kukharchuk, A.I. Brezhnev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 7 pages, 2 tables, 9 illustrations. – References, 18 titles.

In the present paper consideration is given to the possibility of applying a pulsed reactor as a neutron-breeding target for accelerator-driven systems. It is assumed that such a reactor operates in the reactivity modulation mode similar to that of the IBR-2 reactor. In theory, it enables energy requirements for the accelerator beam to be reduced, while at the same time enhancing the safety of installations of this type.

УДК 621.039.51

Analysis of the BOR-60 Cells Utilization to Carry out Experiments | I.Yu. Zhemkov, Yu.V. Naboishchikov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 10 pages, 12 illustrations. – References, 6 titles.

The efficiency of BOR-60 core cells and blanket utilization to carry out experiments was analyzed for the 40-year operating period. Reactor cells that are used the most often to carry out experiments as well as the parameters influencing their attractiveness were identified.

УДК 621.039.543.6

Methodology of Conversion of Plutonium of Various Isotopic Compositions to the Equivalent Plutonium as Applied to System Studies in Nuclear Power | E.M. Yatsenko, A.N. Chebeskov, V.S. Kagramanyan, A.G. Kalashnikov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 11 pages, 3 tables, 3 illustrations. – References, 10 titles.

In this work the simplified methodology of correction of the initial enrichment, based on plutonium equivalent of uranium, plutonium, americium, neptunium, curium isotopes on loading is offered. The developed methodology, possessing comprehensible accuracy, allows not only to correct enrichment, but also to lower uncertainty degree at carrying out of system researches of atomic engineering taking into account dynamics of change of fuel isotopic composition at its multiple recycle in fast reactors.

УДК 621.039.51

Software Analysis of in-core monitoring system and reporting on the state of the reactor core of VVER-1000 KARUND | R.R. Alyev, S.T. Leskin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 9 pages, 1 table, 5 illustrations. – References, 13 titles.

On the basis of algorithms [2], [3] developed a software system KARUND whose function is to monitor the state of the measuring system of RMC, software in-core monitoring system, core VVER-1000 reactor, and visual representation in the form of information to the operator. Completed description of the main modes of operation of the program and. Partially, describes the interface software system KARUND and some results.

УДК 621.039.58

Lifetime NPP Equipment Management Under Ageing by System Analysis Procedures | O.M. Gulina, N.L. Salnikov, V.P. Politukov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 6 pages, 1 illustration. – References, 6 titles.