

# ЭЛЕКТРОГЕНЕРИРУЮЩАЯ СИСТЕМА МАЛОЙ АЭС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ТЕРМОЭМИССИОННОГО ПРОЦЕССА

**П.А. Маслов**

*Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ МИФИ, г. Обнинск*



Рассмотрена концепция малой АЭС АИСТ-МП и предложены основы проектных решений для конструкции электрогенерирующих элементов и каналов. Предложен метод выравнивания температуры коллекторов ЭГЭ по высоте ЭГК. Проведены расчеты теплоэлектрофизических характеристик ЭГК с динамической подачей пара цезия, подтверждающие высокую эффективность преобразования энергии, сравнимую с эффективностью ЯЭУ на основе турбомашинного цикла преобразования.

**Ключевые слова:** термоэмиссия, термоэмиссионный преобразователь (ТЭП), электрогенерирующий канал (ЭГК), электрогенерирующий элемент (ЭГЭ), реактор-преобразователь.

**Key words:** thermionic conversion, thermionic converter, electricity generation channel, electricity generation element, reactor-converter.

## ВВЕДЕНИЕ

В связи с развитием добывающей промышленности в удаленных регионах России существует потребность в экономических автономных источниках теплоэнергоснабжения. Именно этим обусловлен интерес к ядерным энергетическим установкам малой мощности. Однако на сегодняшний день практически отсутствуют предложения по малым АЭС с электрической мощностью 1–2 МВт с коротким строительным циклом, высокой надежностью и упрощенным обслуживанием (концепция «атомной батарейки»).

Экспериментальные исследования, выполненные в Чалмерском университете (Швеция) [1,2] и ГНЦ РФ-ФЭИ [3], показали возможность повышения КПД ТЭП до 20–25%. Значительное увеличение эффективности преобразования энергии может быть достигнуто при переходе к новому состоянию межэлектродной среды – переводу паров цезия в конденсат возбужденных состояний. Результаты экспериментальных исследований представлены в [3]. Измерения проводились в низкотемпературной области при температуре эмиттера ниже 1360 К при динамической подаче паров цезия. Обнаружено снижение барьерного индекса вплоть до  $V_B = 1.6$  эВ и эмиссионной работы выхода коллектора до  $\Phi_C = 1.0$  эВ. В процессе

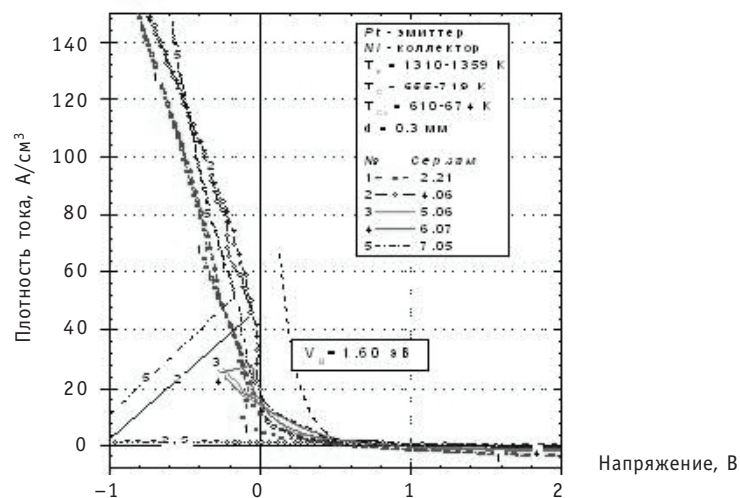


Рис. 1. Вольтамперные характеристики ТЭП при динамической подаче цезия в межэлектродный зазор

дальнейшей работы в режиме динамической подачи цезия произошло дополнительное увеличение выходного напряжения ТЭП. Это можно видеть по ВАХ, представленным на рис. 1. Расчет эффективности преобразования по величине барьерного индекса для этих вольтамперных характеристик дает величину коэффициента преобразования порядка 30%. С учетом внутренних потерь в термоэмиссионном преобразователе и отводящих шинах ожидается, что системный КПД составит величину »25%. Соответственно, появляется принципиальная возможность создания малой АЭС с термоэмиссионным способом преобразования энергии с высокой эффективностью, превосходящей заявленную в известных проектах малых АЭС (порядка 18–20%) с машинным преобразованием энергии.

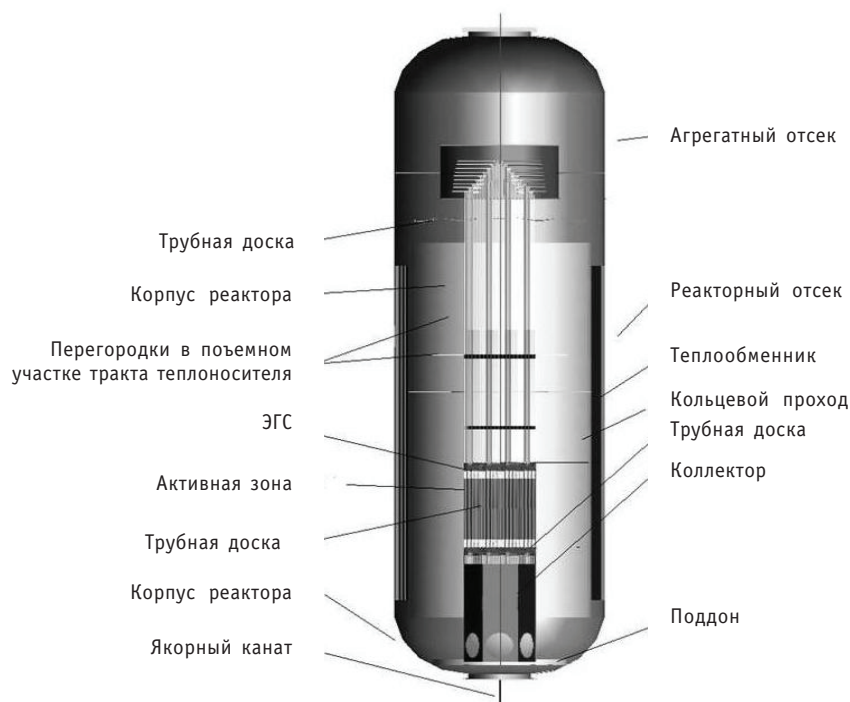


Рис. 2. Конструктивно-компоновочная схема малой АЭС АИСТ-МП

В свою очередь это позволяет рассматривать термоэмиссионные технологии как коммерчески привлекательные для использования в составе малой АЭС типа АИСТ-МП (автономный источник термоэмиссионный для морских платформ) [4].

В статье рассмотрены вопросы разработки электрогенерирующих систем термоэмиссионной АЭС типа АИСТ-МП, схема которой представлена на рис. 2.

Основным узлом малой АЭС является водо-водяной реактор (аналог исследовательского реактора типа ИРТ-2000).

Следует отметить, что термоэмиссионные электрогенерирующие системы традиционной коаксиальной геометрии, используемые в космических ЯЭУ первого поколения (ТОПАЗ) и второго поколения, обычно называют электрогенерирующими каналами (ЭГК) [5].

### ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАЛОЙ АЭС АИСТ-МП

Основные технические характеристики малой АЭС АИСТ-МП приведены в табл. 1 [4].

Основная часть малой АЭС АИСТ-МП – ее ядерно-энергетический блок (ЯЭБ) – размещена в прочном корпусе под приборным отсеком (ПО), в котором, в частности, размещается аппаратура системы автоматического управления (САУ).

Поперечное сечение активной зоны (а.з.) приведено на рис. 3.

Охлаждение активной зоны (а.з.) водо-водяного реактора-преобразователя (РП) происходит за счет естественной циркуляции. Система охлаждения одноконтурная с отводом тепла к заборной воде непосредственно через стенку корпуса.

Активная зона набрана из 306-ти электрогенерирующих сборок (ЭГС), размещенных в гексагональной упаковке, по 7 ЭГК в каждой сборке. ЭГК содержит 15 рядов ЭГЭ, разделенных коммутационными проставками высотой по 2 см. Высота каждого ЭГЭ – 8,1 см. Диаметр ЭГК – 2,4 см. ЭГК расположены в узлах правильной треугольной решетки с шагом 3,0 см.

В качестве топлива используется топливная композиция на основе смеси диоксидов плутония и тория ( $\text{PuO}_2$  – 4,4% +  $\text{ThO}_2$  – 95,6%) плотностью 10,4 г/см<sup>3</sup>.

Таблица 1

**Основные технические характеристики малой АЭС АИСТ-МП**

Параметр или характеристика	Размерность	Значение
Габариты ЯЭУ		
- максимальный диаметр корпуса ЯЭУ, не более	мм	4500
- осевой габарит ЯЭБ, не более	мм	14000
Назначенный срок службы (ресурс)	год	~20
Полезная электрическая мощность, не менее	кВт	2000
Электрическая мощность на клеммах реактора-преобразователя (РП)	кВт	2400
Тепловая мощность РП, не более	кВт	8000
Рассеиваемая тепловая мощность	кВт	6000
Напряжение на клеммах РП, В	В	120
Расстояние между центром а. з. РП и ПО	мм	8000
Теплоноситель		Вода
Температура воды на выходе а.з, не более	°С	90
Перепад температуры воды на а.з, не более	°С	30

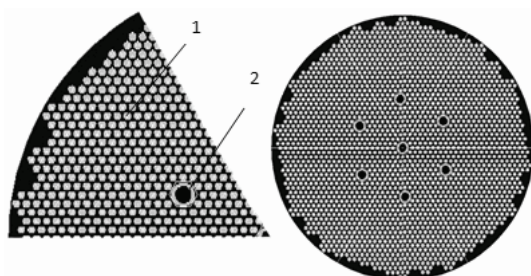


Рис. 3. Поперечное сечение активной зоны: 1 – ЭГК; 2 – стержни регулирования

Загрузка плутония с изотопным составом, соответствующим мокс-топливу, составляет 159,6 кг. Загрузка топливной композиции – 4,16 т. Топливная композиция занимает 65% объема узла эмиттера.

Для регулирования РП предусмотрены семь органов регулирования в виде стержней с поглощающим материалом из карбида бора с естественным изотопным составом.

Основные характеристики РП приведены в табл. 2 [4].

Таблица 2

### Основные характеристики РП

Характеристика	Значение
Загрузка плутония, кг	159,6
Загрузка $\text{ThO}_2$ , т	4,00
Площадь эмиссионной поверхности РП, $\text{м}^2$	158,6
Шаг решетки ЭГК, мм	30
Количество сборок в реакторе	306
Количество ЭГК в ЭГС	7
Количество ЭГК в реакторе	2142
Высота активной зоны, см	149,5
Приведенный диаметр активной зоны, см	142,5

Использование водо-водяного реактора бассейнового типа с термоэмиссионным преобразователем является конструктивной особенностью малой АЭС. Размещение реактора в бассейне большого объема по сравнению с корпусными конструкциями и охлаждение ЭГК естественной конвекцией теплоносителя будет способствовать существенному увеличению показателей надежности и безопасности.

Продолжительность ресурса работы ЯЭУ обеспечивается высоким исходным запасом реактивности на выгорание топлива при высоком коэффициенте его воспроизводства и низкой энергонапряженностью термоэмиссионного преобразователя в составе электрогенерирующего канала.

### ОСНОВЫ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ЭЛЕКТРОГЕНЕРИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Разработанные в ГНЦ РФ-ФЭИ низкотемпературные высокоэффективные электродные материалы и рабочая среда для ТЭП нового поколения совместно с динамической подачей паров цезия в межэлектродный зазор (МЭЗ) в проведенных экспериментах показали увеличение коэффициента преобразования до 25% [3].

Основная проблема, которую необходимо решать при динамическом подводе пара цезия в МЭЗ термоэмиссионного преобразователя (ТЭП) как части электрогенерирующей системы, заключается в организации каналов подвода (отвода) пара. Особенно актуальной эта задача становится для ТЭП, размещенных в а.з. ре-

актора, для которой требование компактности размещения топлива является едва ли не основным. По-видимому, именно это обстоятельство послужило барьером для перехода от разработки ТЭП с динамической подачей пара цезия в МЭЗ к реализации такой подачи цезия в электрогенерирующих системах сразу же после открытия эффекта увеличения эффективности преобразования.

Выполнить ТЭП с динамической подачей пара цезия в МЭЗ компактно для последующего его использования в элементах а.з. позволяет техническое решение, найденное в ГНЦ РФ-ФЭИ [6]. Сущность его заключается в отказе от подвода (отвода) цезия в МЭЗ в газовой фазе и переходе к циркуляции расплава цезия на части циркуляционной петли в структуре коллекторного узла (вне МЭЗ). Структура, обеспечивающая микроциркуляцию пара цезия в МЭЗ по предложенному принципу, представлена на рис. 4.

Термоэмиссионный преобразователь содержит токоподводы 8, обогреваемый эмиттер 1 и охлаждаемый перфорированный коллектор 2, разделенные МЭЗ 3, систему подачи пара цезия через отверстия в аноде в МЭЗ 3, которая образована соединенными между собой перфорированным коллектором 2, капиллярно-пористой прокладкой 4, пропитанной расплавом цезия, и подложкой коллектора 5, причем, по крайней мере, часть отверстий коллектора размещена над теплоизолирующими прокладками 6, размещенными в подложке коллектора 5.

Рабочий процесс преобразования энергии осуществляется подводом тепла к эмиттеру от топливного сердечника с прогревом его до температуры в диапазоне 1100–1300°C при отводе тепла от коллектора теплоносителем через коллекторный пакет при температуре 500–700°C. В указанном температурном режиме устанавливается пятнистая структура поля температуры капиллярно-пористой структуры 3 – под отверстиями в перфорированном коллекторе с теплоизолирующими прокладками ее температура выше, чем под отверстиями без теплоизолирующих прокладок. В результате в коллекторной системе происходит интенсивное испарение цезия и поступление его пара через отверстия в коллекторе над теплоизолирующими прокладками в МЭЗ и конденсация пара цезия на капиллярно-пористой структуре поступающего из МЭЗ через отверстия коллектора, размещенные вне теплоизолирующих прокладок. За счет капиллярных сил цезий перетекает по капиллярно-пористой структуре от отверстий из части коллектора без теплоизолирующих прокладок к отверстиям в части коллектора с теплоизолирующими прокладками, тем самым обеспечивается замкнутый цикл циркуляции цезия.

### КОНСТРУКЦИЯ ЭГЭ И ЭГК

Одна из основных причин малого ресурса работы и нестабильности выходных энергетических характеристик ЯЭУ с термоэмиссионным преобразованием энергии связана с тем, что выходящие из тепловыделяющего элемента топливо или отдельные компоненты сложных топливных композиций, а также некоторые продукты деления, попадая в МЭЗ, могут оказывать существенное влияние на эмисси-

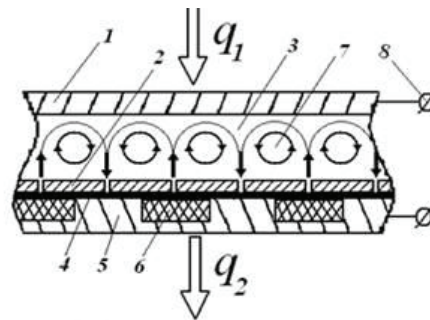


Рис. 4. Схема электродов электрогенерирующего элемента с динамической подачей цезия в МЭЗ: 1 – эмиттер; 2 – коллектор; 3 – МЭЗ; 4 – капиллярно-пористая прокладка, заполненная расплавом цезия; 5 – подложка коллектора; 6 – теплоизолирующая прокладка; 7 – микроциркуляционные ячейки; 8 – токоподводы

онные свойства и соответствующие характеристики электродов, например, на работу выхода, степень черноты, а также образовывать на коллекторе слой с повышенным электрическим сопротивлением. Для повышения надежности ЭГЭ малой АЭС АИСТ-МП за счет ограничения выноса в МЭЗ из полости твэла топлива и других компонентов, существенно влияющих на эмиссионные свойства электродов, предлагается газоотводная система с разделением тракта отвода газообразных продуктов реакции деления (ГПД) и тракта полости МЭЗ, что позволит, в конечном счете, увеличить ресурс работы малой АЭС.

Особенностями ЭГЭ являются коллекторная структура, обеспечивающая микроциркуляцию пара цезия в МЭЗ, разделенные тракты отвода ГПД и полости МЭЗ, а также герметичное соединение охранный электрода с оболочкой эмиттера.

На рисунке 5 представлена схема, полученная путем трехмерного моделирования ЭГЭ в среде AutoCAD.

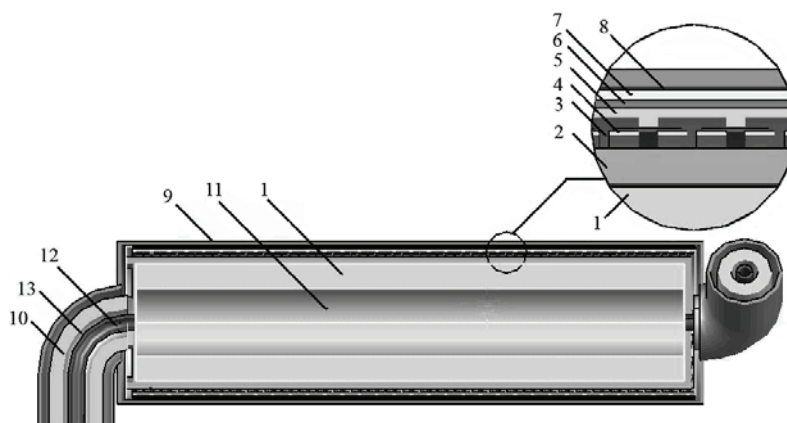


Рис. 5. Разрез электрогенерирующего элемента: 1 – топливо; 2 – оболочка эмиттера; 3 – МЭЗ; 4 – коллекторная структура; 5 – оболочка коллектора; 6 – «мокрая» электроизоляция; 7 – оболочка охранный электрода; 8 – гелиевый зазор; 9 – корпус; 10 – трубчатые токоподводы; 11 – полость сбора ГПД; 12 – капилляр отвода ГПД; 13 – канал подачи пара цезия

ЭГЭ содержит топливо 1 в виде цилиндра с центральной полостью для сбора ГПД 11. Топливо заключено в оболочку из жаропрочной и жаростойкой стали ЭП747, выполняющей функции эмиттера 2. На торцевых кольцевых крышках оболочки размещены капилляры 12  $\varnothing 1,6 \times 0,4$ , сообщающиеся с внутренней полостью топлива 1, предназначенные для отвода ГПД, соединенные с оболочками соседних ЭГЭ. Материал капилляра – тантал, выбор материала обусловлен высоким электрическим сопротивлением и жаростойкостью. Один из торцов оболочки соединен перфорированной кольцевой крышкой с коллектором, второй – с охранным электродом 7.

Коллектор и охранный электрод разделены между собой слоем «мокрой» электроизоляции 6 на основе оксида алюминия. Электроизоляция 6 также выполняет функцию гермоввода, разделяя цезиевую полость от газовой. Материал коллектора и охранный электрод – ниобиевый сплав марки НБЦУ как хорошо сочетающийся с оксидом алюминия по коэффициенту термического расширения. Охранный электрод с одного торца соединяется с эмиттером. Между корпусом ЭГЭ 9 и охранным электродом находится зазор 8, заполненный гелием. Гелиевый зазор необходим, чтобы уменьшить термическое напряжение на корпусе ЭГЭ; также, профилируя его толщину для разных ЭГЭ, можно выровнять температуру коллекторов по высоте ЭГК. Трубчатые токоподводы 10 выполняют роль коммутационной перемычки и тракта подачи пара цезия. Благодаря высокой температуре то-

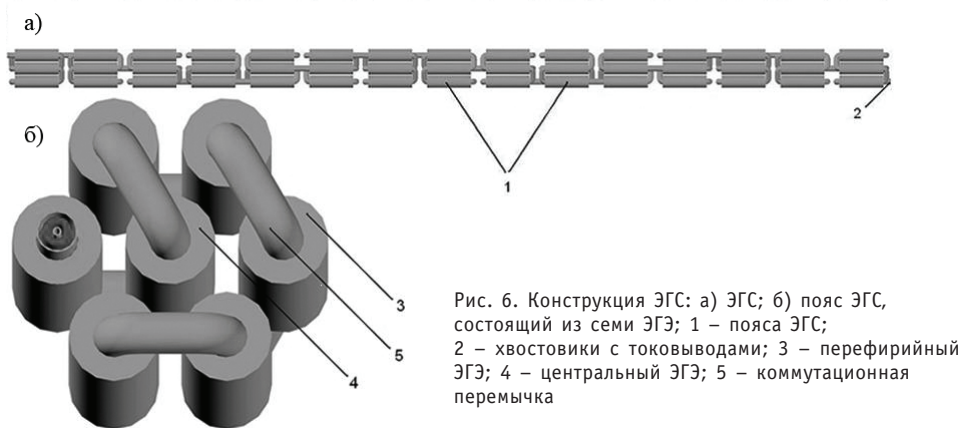


коподвода исключается конденсация пара цезия на стенках полости тракта.

Из приведенного рисунка видно, что по сравнению с обычными энергетическими реакторами твэл АИСТ-МП обладает двумя дополнительными барьерами безопасности – в случае разгерметизации оболочки твэла на пути миграции осколков деления располагаются герметичные оболочки корпуса ЭГЭ и система оболочек охранного электрода и коллектора.

### ЭЛЕКТРОГЕНЕРИРУЮЩАЯ СБОРКА

Назначение ЭГС – конструктивно объединить «мелкие» объекты (ЭГЭ) в более крупные сборочные единицы. Применительно к термоэмиссионным реакторам-преобразователям у них появляется еще одна функция – последовательная электрическая коммутация ЭГЭ с целью увеличения выходного напряжения и снижения величины генерируемого тока для уменьшения омических потерь в токоподводах и коммутационных шинах в рабочей точке вольтамперных характеристик (ВАХ) АИСТ-МП, обеспечивающей заданную электрическую мощность реактора-преобразователя. Для этого было проведено трехмерное математическое моделирование конструкции ЭГС в среде AutoCAD 2008. Конструкция ЭГС представлена на рис. 6.



ЭГС состоит из 15 поясов ЭГЭ 1, расположенных друг за другом. Пояса ЭГЭ содержат по 7 элементов в гексагональной упаковке, соединенных последовательно для обеспечения ввода тока в пояс по одному торцу, а вывода – по другому, что позволяет соединять пояса напрямую, без дополнительных токонесущих шин. В пределах каждого пояса ЭГЭ соединены последовательно коммутационными перемычками 5. Данная схема соединений позволяет получить на клеммах ЭГС выходное напряжение порядка 100 В.

### ПРОФИЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ КОЛЛЕКТОРОВ ЭГЭ

При изменении температуры коллекторов ЭГЭ по ЭГС происходит переток пара цезия по ЭГК и конденсация его в ЭГЭ с пониженной температурой, что ведет к осушению по цезию в коллекторах ЭГЭ с более высокой температурой. Во избежание этого необходимо обеспечить постоянство температуры коллекторов ЭГЭ по высоте а.з. Выравнивание температуры коллекторов в ЭГК осуществляется профилированием толщины гелиевого зазора между коллекторным пакетом и чехлом ЭГЭ, исходя из того, что для более энергонапряженных ЭГЭ его толщина должна быть уменьшена для увеличения интенсивности теплосъема.

Толщина гелиевого зазора рассчитывалась по известной зависимости для плоского слоя:

$$\delta = \frac{\Delta T \cdot \lambda}{Q_{col}},$$

где  $\Delta T$  – разность температур коллектора и теплоносителя;  $\lambda$  – удельная теплопроводность гелия;  $Q_{col}$  – плотность теплового потока на коллекторе.

Распределение плотности теплового потока в ЭГЭ по высоте а.з. и расчетные значения толщины гелиевого зазора в ЭГЭ по высоте а.з. представлены на рис. 7. В таблице 3 представлены значения толщины гелиевого зазора.

Из результатов расчета видно, что технологически возможно исполнить ЭГЭ с переменной толщиной гелиевого зазора и обеспечить выравнивание температуры коллекторов по высоте ЭГК.

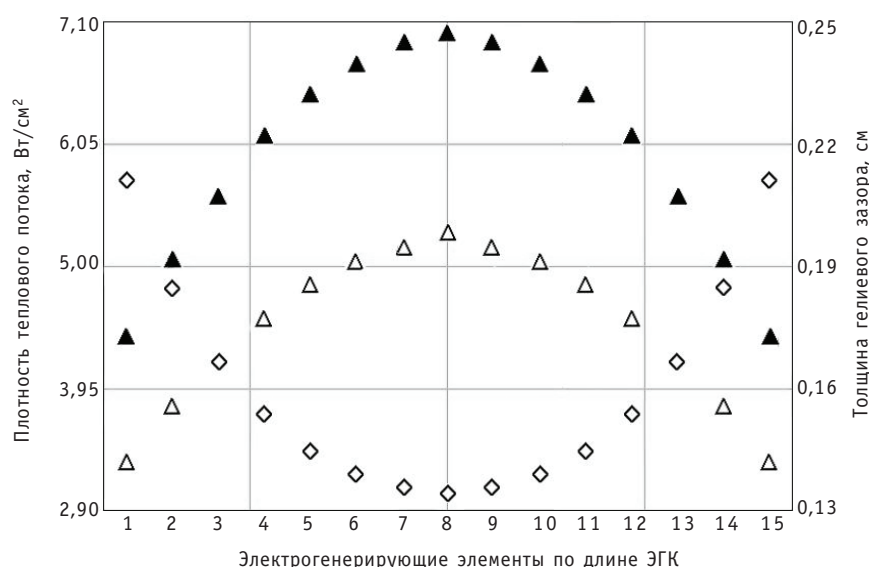


Рис. 7. Распределение плотности теплового потока по высоте а.з.:  $\triangle$  на коллекторе;  $\blacktriangle$  на эмиттере;  $\diamond$  – толщины гелиевого зазора по высоте а.з.

Таблица 3

#### Толщина гелиевого зазора для различных ЭГЭ

№ элемента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$\delta$ , мм	2,1	1,8	1,7	1,5	1,45	1,4	1,35	1,3	1,35	1,4	1,45	1,5	1,7	1,8	2,1

#### РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭГК

Предварительный расчет характеристик ЭГК с динамической подачей пара цезия, организованной путем микроциркуляции цезия, был выполнен в рамках методики расчета с сосредоточенными параметрами [8]. Выбор методики определен недостаточной экспериментальной изученностью термоэмиссионного процесса в условиях динамического подвода пара цезия в МЭЗ, что затрудняет получение непрерывной интерполяционной зависимости для плотности тока между электродами. Для расчета использовалась экспериментально полученная база данных о ВАХ [9] (расчетные данные получены интерполяцией экспериментальных результатов).



Таблица 4

**Основные теплоэлектрофизические характеристики ЭГК**

Электрический ток ЭГЭ $I$ , А	50	60	70
Средняя плотность тока $j$ , А/см <sup>2</sup>	1,0	1,2	1,4
Выходное напряжение одного элемента $U_{out}$ , В	1,16	1,13	1,1
Выходное суммарное напряжение эквивалентного ЭГК $U_{сум}$ , В	17,23	16,74	16,26
Удельная выходная электрическая мощность $E$ , Вт/см <sup>2</sup>	1,14	1,33	1,51
Выходной КПД модуля $\eta_{out}$ , %	25,68	28,72	31,34
Удельная тепловая мощность, отводимая эмиттером $Q_e$ , Вт/см <sup>2</sup>	4,47	4,66	4,85
Удельная тепловая мощность, отводимая коллектором $Q_c$ , Вт/см <sup>2</sup>	3,32	3,32	3,32

С учетом потери напряжения на конструктивных элементах получены характеристики ЭГЭ для трех значений тока – 50, 60 и 70 А. Результаты расчета представлены в табл. 4.

Из представленных данных видно, что использование в ЭГК экспериментальных данных о ВАХ, полученных для термоэмиссионного процесса с динамической подачей пара цезия в МЭЗ при относительно низкой рабочей температуре эмиттера дает высокую эффективность преобразования энергии, что обеспечивает заявленные характеристики малой АЭС АИСТ-МП.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная концепция ЭГС, реализующая термоэмиссионный процесс преобразования энергии путем организации динамической подачи пара цезия в межэлектродный зазор, позволяет существенно увеличить эффективность преобразования энергии и предложить ее для АЭС типа АИСТ-МП с высокой эффективностью прямого преобразования энергии, по крайней мере, не хуже эффективности ЯЭУ на основе турбомашинного цикла преобразования.

**Автор выражает благодарность научному руководителю В.И. Ярыгину за постановку задачи и обсуждение полученных результатов, Г.Э. Лазаренко за помощь в освоении проектных решений в среде AutoCad 2008 и консультации при подготовке настоящей работы и В.Л. Шаблову за полезные советы и дискуссии.**

## Литература

1. Holmlid L. Rydberg States and Rydberg matter in thermionic energy converters/Proc. Thermionic Energy Conversion Specialist Conference. Goteborg, Sweden. – 1993. – P. 47.
2. Svensson R., Holmlid L., Kennel E. Experiments with different collector hole matrices in a Thermionic Energy Converter/Proc. Thermionic Energy Conversion Specialist Conference. Goteborg, Sweden. – 1993. – P. 93.
3. Ярыгин В.И., Касиков И.И., Миронов В.С., Агафонов В.Р., Тулин С.М., Гончар А.И., Терехов С.В., Котова А.А., Резвых В.П., Горохова Е.Л. Экспериментальное исследование свойств конденсата возбужденных состояний вещества (ридберговской материи) электрофизическими и оптическими методами. /Труды регионального конкурса научных проектов в области естественных наук. Вып. 9. – Калуга, 2006.
4. Лазаренко Г.Э., Ярыгин В.И., Пышко А.П. Автономная ядерная энергетическая установка электро- и теплоснабжения прямого преобразования тепловой энергии в электричество /Международная научно-практическая конференция «Малая энергетика – 2006» (Москва, 2006): Тез. докл. – С.68-70.

5. Зродников А.В., Забудько А.Н., Овчаренко М.К., Пустовалов А.А., Ярыгин В.И. Модель космоса. 8-е изд. – М.: Изд-во «Университет – книжный дом», 2007.
6. Патент РФ от 16.04.2010 № 2390872 «Термоэмиссионный преобразователь» (Заявка №2009114500), авт. Г.Э. Лазаренко, Д.Г. Лазаренко, В.И. Ярыгин, опубликован в бюллетене «Изобретения. Полезные модели»
7. Кутателадзе С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление. Справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
8. Ружников В.А. Методы расчета тепловых и электрических характеристик систем прямого преобразования энергии. Часть 1. Термоэмиссионный электрогенерирующий канал ЭГК. – Обнинск: ГНЦ РФ-ФЭИ, 2001. – 25 с.
9. Виноградов Е.Г., Ярыгин В.И. Демонстрационная база экспериментальных данных (БД ВАХ ТЭП) лабораторного термоэмиссионного преобразователя (учебный ТЭП). – Обнинск: ГНЦ РФ-ФЭИ, ИАТЭ, 2007. – 20 с.
10. Кириллов П.Л., Терентьева М.И., Денискина Н.Б. Теплофизические свойства материалов ядерной техники: Учеб. пособие. – Обнинск, 2005. – 181 с.

Поступила в редакцию 28.01.2011

## ABSTRACTS OF THE PAPERS

### УДК 539.17

*Modified CASCADEX 1.2 Software for Spallation Reaction Calculation \A.A. Andrianov, A.Yu. Konobeev, Yu.A. Korovin, I.S. Kuptsov, A.Yu. Stankovskiy; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 12 pages, 7 tables, 2 illustrations. – References, 15 titles.*

The paper describes an improved version software system CASCADEX 1.2 designed to calculating high-energy spallation reactions. Improvements included latest version TALYS 1.2 code integration, double-differential cross-sections light nuclei (p, n, d, t,  $^3\text{He}$ ,  $^4\text{He}$ ) emission calculation module implementation, based on moving source model, cluster formation process accounting. The article also describes Interactive Media IviS CASCADEX, providing an opportunity for multiple-criteria serial calculations, meaningful choice of model parameters on the results of quantitative comparison with experiment, and includes a wide range of processing and presentation calculation results. The results, based on developed software, for constant improvement goal is shown.

### УДК 621.039.51

*The Determination of Reactor Control and Safety System Regulating Units Efficiency and Active Zone Skewness of Kalinin NPP Third Unit \V.A. Lititsky, B.V. Kutin, V.A. Tereshonok, V.A. Pitilimov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 7 pages, 2 tables, 3 illustrations. – References, 1 title.*

This article describes measurement techniques of reactor control and safety system regulating units efficiency and active zone skewness during first criticality of Kalinin nuclear power plant third unit.

### УДК 621.039.62

*Electricity Generation System Small Nuclear Power Plant Using High Effective Low Temperature Thermionic Process \P.A. Maslov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 10 pages, 4 tables, 7 illustrations. – References, 10 titles.*

Considered of a small nuclear power plant AIST-MP and the proposed bases design solutions for the construction of electricity power generating elements and channels. Proposed a method for equalizing the temperature of collectors EGC height EGE. Calculations of the characteristics EGC with a dynamic feed of cesium vapor, is confirmed the high efficiency of energy conversion, which is comparable with the efficiency of nuclear power plants on the basis of turbomachine conversion cycle.

### УДК 621.039.517

*The SM Reactor Calculation Model and Its Testing Results when Evaluating Fuel Burnup and Fission Products Distribution \V.A. Starkov, Y.B. Chertkov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 9 pages, 2 tables, 6 illustrations. – References, 10 titles.*

This paper presents the description of SM reactor core calculation model developed on the MCU-RR2 base. The approach to the initial data assignment allows the geometric characteristics to be described in details and the reactor core structure heterogeneity to be taken into account, power density calculation being done for each fuel element. The MCU-RR2 add-ons code allows modeling the movement of the control rods during a reactor run as well as determining the distribution of power density throughout fuel elements without application of averaging (homogenizing) methods. Coefficients of power density distribution non-uniformity throughout reactor cells, FA profile and height, thermal flux density on fuel elements surface and critical power ratio can be determined as well.