

**Компьютерное моделирование газодинамических процессов в межэлектродном зазоре
многоэлементного термоэмиссионного электрогенерирующего канала**Д.В. Щербаков^{1,2}, Д.Ю. Любимов², Н.А. Зименков³, Е.Л. Остапов³¹Московский физико-технический институт (государственный университет)²ФГУП «НИИ НПО «ЛУЧ»³Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»

Среди возможных типов космических ЯЭУ в проектных разработках в России наибольшее развитие получили ЯЭУ на основе ядерных реакторов со встроенными в активную зону термоэмиссионными преобразователями (ТЭП) [1]. Одним из элементов ТРП является электрогенерирующий канал (ЭГК), содержащий вентилируемый твэл с ядерным топливом на основе диоксида урана или других перспективных топливных материалов, в частности, нитрида и карбонитрида урана [2]. Для отработки и обоснования конструкции ЭГК проводятся его испытания в петлевом канале ядерного реактора [3].

Проблемной задачей в такой конструктивной схеме ЭГК является ограничение поступления в МЭЗ (межэлектродный зазор) через систему газоотвода примесных элементов, а также основных компонентов и продуктов деления оксидного топлива. Экспериментально невозможно определить параметры газообразной смеси в полости межэлектродного зазора, поэтому для оценки давлений газообразных продуктов деления применяются численные методы.

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = \phi_i - \lambda_i C_i + \sum_{k, k \neq i} \lambda_{ki} C_k - \text{div} J_i + q_i \quad (1)$$

Сам МЭЗ представляет из себя пространство между двумя концентрическими цилиндрами (эмиттером и коллектором), ГПД попадают в МЭЗ через щели в эмиттере. В более ранних работах расчет производился методом численного решения линейного уравнения диффузии (1). Расчеты производились для двух конструктивных схем МЭЗ: с открытыми концами МЭЗ (возможность выведения ГПД через левый и правый конец установки) и с одним открытым концом МЭЗ (выведение только через правый конец установки). Были получены значения давления и плотности ГПД в зависимости от линейной координаты длины МЭЗ. В среднем газообразные продукты деления Хе, Кг находятся в полости МЭЗ при давлении 10^{-3} – 10^{-4} Па [4].

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \frac{p_x}{m} \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{p_y}{m} \frac{\partial f}{\partial y} = \int (f' f_1' - f f_1) g b d b d \varepsilon d p_1 \quad (2)$$

Для более точного расчета поведения ГПД в области МЭЗ было предложено проводить расчеты в двумерной плоскости зазора, а в качестве уравнения модели использовать уравнение Больцмана (2) с упругим потенциалом взаимодействия. Рассматривалось поведение Kr, Xe и продуктов их бета-распада Rb, Sr и Cs, Ba.

Полученные результаты согласуются с ранее проведенными расчетами. Была обнаружена линейная зависимость увеличения давления компонентов в области коллектора при увеличении потока ГПД в МЭЗ. С увеличением степени прокачки цезия в схеме с двумя открытыми концами падает давление ГПД в области коллектора, а ГПД выносятся потоком через правый конец МЭЗ. Было обнаружено, что в схеме с двумя открытыми концами давление ГПД в области коллектора ниже, чем в схеме с одним открытым концом.

Таким образом метод численного решения уравнения Больцмана применим к моделированию газодинамики в полости МЭЖ. В дальнейшем планируется разработка газодинамической модели поведения ГПД и решение обратной задачи восстановления потоков (плотности источников) радионуклидов из топлива в МЭЗ для двумерного уравнения диффузии-конвекции по измерениям γ -спектрометрической системы в процессе петлевых испытаний ЭГК.

Литература

- 1 *Васильковский В.С., Андреев П.В., Зарицкий Г.А., и др.* Проблемы космической энергетики и роль ядерных энергетических установок в их решении. Международная конференция "Ядерная энергетика в космосе–2005". Москва–Подольск 1–3 марта 2005г. Сборник докладов, т.1, с.20–25. ФГУП НИКИЭТ, М–Подольск, 2005.
- 2 *Алексеев С.В., Выбыванец В.И., Гонтарь А.С. и др.* Перспективные топливные материалы для термоэмиссионных ЯЭУ. Атомная энергия, т.115, вып.6, декабрь 2013, с.322–331.
- 3 *Синявский В.В.* Методы и средства экспериментальных исследований и реакторных испытаний термоэмиссионных электрогенерирующих сборок. М.: Энергоатомиздат. 2000. 375 с
- 4 *Любимов Д.Ю., Федик И.И., Шумилов А.А.* Влияние продуктов деления на выходную мощность термоэмиссионных ЭГК с сообщающимися и разделенными полостями твэла и межэлектродного зазора. Атомная энергия, т.110, вып. 6, 2011, с.321-327.