

11. **Review** of Zircaloy-2 and Zircaloy-4 Properties Relevant to N.S. Savannah Reactor Design. 17th ed. ORNL-3281, 1962.
12. **MATPRO-Version 11**: a Handbook of Materials Properties for Use in the Analysis of Light Water Reactor Fuel Rod Behaviour. Rep. № NUREG/CR-0497. Idaho National Lab., 1979.
13. **Самсонов Г.В., Виницкий И.М.** Тугоплавкие соединения. Справочник. М.: Металлургия, 1976. 560 с.
14. **ASTM E1363—18**. Standard Test Method Temperature Calibration of Thermomechanical Analyzers. USA, ASTM International, 01.12.2018. 5 p.
15. **Измалков И.Н., Лошманов Л.П., Костюхина А.В.** Механические свойства сплава Э110 при температурах до 1273 К. — Изв. вузов. Ядерная энергетика, 2013, № 2, с. 64—70.
16. **Диаграммы** состояния двойных металлических систем. Справочник. В 3 т. Т. 1. Под общ. ред. Н.П. Лякишева. М.: Машиностроение, 1996. 992 с.
17. **Мармер Э.Н.** Углеродистые материалы. Справочник. М.: Металлургия, 1973. 136 с.
18. **DIN 51007**: 2019-04. Thermal Analysis — Differential Thermal Analysis (DTA) and Differential Scanning Calorimetry (DSC) — General Principles. Germany, 01.04.2019. 8 p.
19. **Anhalt K., Schindler A., Denner T. e.a.** Eutektische Hochtemperatur Fixpunkte für die Dynamisch Differenzkalorimetrie. — In: Proc. Conf. Sensoren und Messsysteme. ITG/GMA-Fachtagung. Mai 2010, Nürnberg, p. 192—196.
20. **Outokumpu HSC Chemistry** for Windows «Chemical Reactions and Equilibrium Software with Extensive Thermochemical Database». www.chemistry-software.com (Дата обращения 01.07.2019).
21. **James A., Lord M.** Macmillan's Chemical and Physical Data. London, 1992.

Поступила в Редакцию 30.12.21

УДК 621.039

ВЫДЕЛЕНИЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ПО МАССЕ КОМПОНЕНТОВ ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА В ПРЯМОТОЧНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ ЦЕНТРИФУГЕ

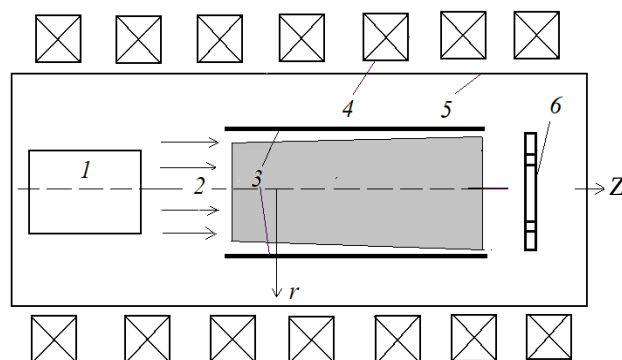
Потанин Е.П. (НИЦ «Курчатовский ин-т», г. Москва, ВИНТИ РАН, г. Москва)

e-mail: potanin45@yandex.ru

Многостадийная очистка отработавшего ядерного топлива от продуктов деления физическими методами предложена в работе [1]. Использование в качестве рабочей среды плазмы рассматривалось в исследованиях [2—6]. Возможность разделения отработавшего топлива предлагалась в [7]. В рамках обычной концепции плазменной центрифуги со скрещенными радиальным электрическим и осевым магнитным полями разделяемая смесь вращается в замкнутом цилиндрическом объеме при наличии тормозящей боковой стенки [8]. Торможение вращающегося потока вызывает нежелательное уменьшение центробежного разделительного эффекта. В исследовании [9] предложена схема плазменной центрифуги с высокой степенью ионизации на основе вращающейся под действием ВЧ-поля струи, оторванной от стенок устройства. В этом случае возможно достижение более высокой скорости вращения разделяемой смеси. Конструкция [9] подобна прямоточной механической центрифуге [10] с тем отличием, что вращение разделяемой смеси в ВЧ-устройстве возбуждается электромагнитными силами, а не вращающейся стенкой ротора. На рис. 1 показана принципиальная схема пря-

моточной плазменной центрифуги, основными элементами которой являются источник сильно ионизованной плазмы 1, плазменная струя, вытекающая из источника со скоростью ионного звука 2, токонесущие стержни, создающие вращающееся магнитное поле 3, катушки статического магнитного поля, удерживающего от быстрого радиального расширения плазмы 4, вакуумная камера 5 и селективный коллектор ионов 6.

Создание источника плазмы отработавшего топлива рассматривалось в работах [1, 11, 12]. Предполагалось, что твэлы, предварительно



Р и с. 1. Схематическое изображение разделительного устройства

прошедшие первую стадию распада основных короткоживущих радионуклидов, подвергаются разделке, дроблению, измельчению и термической обработке [1]. На этой стадии вещество, кроме продуктов деления, содержит кислород и другие элементы. В пылеобразной форме оно может быть подвергнуто ионизации в источнике плазмы. Некоторые аспекты сложной задачи получения сильно ионизованной плазмы рассмотрены в исследовании [13]. Предположим, что источник плазмы создан, и остановимся непосредственно на разделении компонентов в поле центробежных сил.

В прямоточной плазменной центрифуге важное значение имеет продольное стационарное магнитное поле, посредством которого предотвращается быстрое радиальное расширение плазмы и реализуется первичный разделительный эффект. Прямоточная система требует для отбора фракций специальных устройств — скиммеров, способствующих разделению выходящего через торец потока на фракции. Конструкция и основные узлы разделительной установки с одним скиммером описаны в [9]. Такое устройство позволяет отбирать только две фракции — тяжелую (ядерное топливо) и легкую (продукты деления).

Следует отметить, что при разделении изотопов или газовых смесей в любом разделительном устройстве нельзя получить абсолютно чистый продукт, в котором был бы сконцентрирован только один компонент [14]. При попытке получить высокую концентрацию целевого продукта необходимо снижать поток отбираемого компонента.

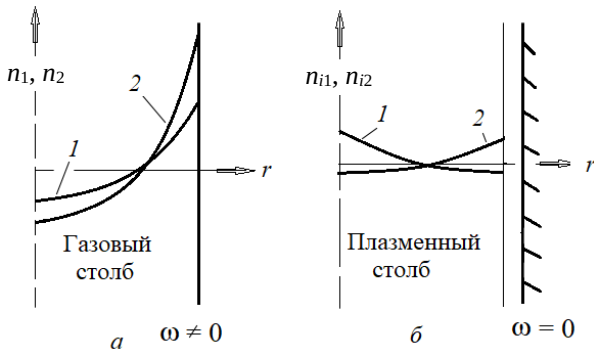
Не является исключением и прямоточная плазменная центрифуга. При этом следует учитывать, что разделяемая смесь отходов является многокомпонентной и представляет собой совокупность большого числа изотопов. Поэтому если в устройстве используется один отсекающий-скиммер, то имеется возможность отделить только одну совокупность близких по массе изотопов от другой. Часть радиоактивных нуклидов, особенно массой 90—140 а.е.м., необходимо отделить от ядерного топлива в рамках задачи его повторного использования. В то же время они сами по себе могут представлять значительную ценность, так как широко используются в промышленности и медицине. Так, цен-

ность имеет ^{90}Sr , необходимый в дозиметрии и при разработке радиоизотопных источников энергии. Другим широко используемым в науке и технике изотопом является ^{137}Cs (гамма-дефектоскопия, измерительная техника, радиационная стерилизация веществ, радиотерапия при лечении злокачественных опухолей). Поэтому представляется целесообразным на стадии центрифугирования выделять с возможно большей чистотой один из этих радионуклидов.

В настоящей работе для выделения этих и других продуктов предлагается использовать многосекционный отборник фракций, представляющий собой систему специальных цилиндрических и кольцевых отборных камер 6, располагающихся на торце устройства (см. рис. 1). Изменяя радиальное расположение промежуточной кольцевой камеры коллектора, можно с известной степенью чистоты извлекать нужный компонент. При этом степень чистоты и масса извлекаемого продукта варьируются радиальными размерами камеры кольцевого коллектора.

В стационарном продольном магнитном поле быстрому радиальному расширению плазмы противодействует электромагнитная сила, связанная с взаимодействием азимутального электрического тока и продольного магнитного поля. При свободном распространении плазменной струи вдоль оси в отсутствие контакта со стенками устройства полный радиальный градиент плотности смеси равен нулю. Предположим, что средняя гидродинамическая скорость вращения ионов обоих сортов в плазменном столбе одинакова и линейно зависит от радиальной координаты: $v_\phi = \Omega r$, где Ω — угловая скорость вращения плазменного столба; r — текущая радиальная координата. Отметим, что квазитвердое ($\Omega = \text{const}$) вращение разделяемой смеси характерно для плазмы, не соприкасающейся с боковыми стенками устройства.

На рис. 2 показан качественный радиальный профиль парциальной плотности компонентов бинарной смеси в механической и плазменной центрифуге. Обозначим m_1 , m_2 — масса ионов первого и второго сорта, T — их температура, R — радиус плазменного столба, n_{iR} , n_{i0} — плотность компонентов на периферии и оси плазменного столба соответственно. Несмотря на то что бинарный равновесный коэффициент разде-



Р и с. 2. Распределение плотности компонентов бинарной смеси в механической (а) и прямооточной плазменной центрифуге (б): 1, 2 — легкий и тяжелый компонент соответственно

ления $\alpha = n_{1R}/n_{10}/(n_{2R}/n_{20})$ в обоих случаях рассчитывается по одной и той же формуле

$$\alpha = \exp\left[(m_1 - m_2)\Omega^2 R^2 / 2kT\right],$$

имеется существенное различие в распределении плотности компонентов.

Разделение модельной бинарной смеси отработавшего ядерного топлива с атомной массой компонентов 240 и 120 а.е.м. соответствует отделению тяжелых элементов (уран + плутоний + нептуний + америций + кюрий) от умеренно легких продуктов распада. Последняя фракция также неоднородна, и необходимо выделить в ней промежуточный компонент.

Введем мольную долю $c_i = n_i / \sum_1^N n_i$, где n_i — плотность ионных компонентов; N — число компонентов. Рассмотрим условную трехкомпонентную смесь ионов массой 90, 140 и 240 а.е.м. и начальной концентрацией $c_{1н} = 0,02$, $c_{2н} = 0,02$ и $c_{3н} = 0,96$ соответственно, приближенно моделирующую плазму отработавшего топлива. Отметим, что наиболее радиоактивной является совокупность относительно легких элементов, поскольку в ней содержатся продукты деления. При свободном распространении плазмы радиальный градиент давления разделяемой смеси равен нулю. Это означает, что центробежная сила, действующая на плазму как целое, уравнивается радиальной электромагнитной силой.

В условиях продольного распространения плазменной струи в магнитном поле на единицу объема плазмы действует электромагнитная сила $F_0 r$, где F_0 — постоянная, имеющая размер-

ность Н/(Кл·м). Запишем уравнение равновесия компонентов тройной смеси в предположении постоянства температуры компонентов T плазмы по радиусу в виде

$$kT \frac{dn_1}{dr} = m_1 n_1 \Omega^2 r - n_1 e F_0 r; \quad (1)$$

$$kT \frac{dn_2}{dr} = m_2 n_2 \Omega^2 r - n_2 e F_0 r; \quad (2)$$

$$kT \frac{dn_3}{dr} = m_3 n_3 \Omega^2 r - n_3 e F_0 r. \quad (3)$$

Складывая уравнения (1)–(3), получим

$$\frac{dp}{dr} = (m_1 n_1 + m_2 n_2 + m_3 n_3) \Omega^2 r - (n_1 + n_2 + n_3) e F_0 r, \quad (4)$$

где $p = nkT$ — полное давление ионов смеси; $n = n_1 + n_2 + n_3$ — суммарная плотность смеси.

Полагая разность давления ионов на периферии плазменного столба и оси равной нулю $p_{R_0} - p_0 = 0$, получим с учетом уравнения (4)

$$\int_0^{R_0} (m_1 c_1 + m_2 c_2 + m_3 c_3) \Omega^2 r dr = \int_0^{R_0} F_0 e r dr. \quad (5)$$

Из уравнения (5) имеем

$$E_0 = \langle m \rangle \Omega^2 / e,$$

где $\langle m \rangle = \langle c_1 \rangle m_1 + \langle c_2 \rangle m_2 + \langle c_3 \rangle m_3$ — средняя масса; $\langle c_i \rangle = \int_0^{R_0} c_i 2\pi r dr / \pi R_0^2 = c_{ин}$; $c_{ин}$ — начальная концентрация i -го компонента смеси.

Отметим, что в случае тройной смеси нельзя ввести бинарный коэффициент разделения. Однако можно определить радиальное распределение плотности каждого компонента тройной смеси.

Интегрируя уравнения (1)–(3), найдем

$$\begin{aligned} n_1(r) &= n_{10} \exp\left[\Delta m_1 \frac{\Omega^2 r^2}{2kT}\right]; \\ n_2(r) &= n_{20} \exp\left[\Delta m_2 \frac{\Omega^2 r^2}{2kT}\right]; \\ n_3(r) &= n_{30} \exp\left[\Delta m_3 \frac{\Omega^2 r^2}{2kT}\right], \end{aligned} \quad (6)$$

где $\Delta m_i = m_i - \langle m \rangle$, $i = 1, 2, 3$.

Из условия сохранения числа частиц с учетом радиального перераспределения плотности (6) получим

$$n_{i0} = n_{\text{ин}} \frac{\Delta m_i b}{\{\exp(\Delta m_i b) - 1\}};$$

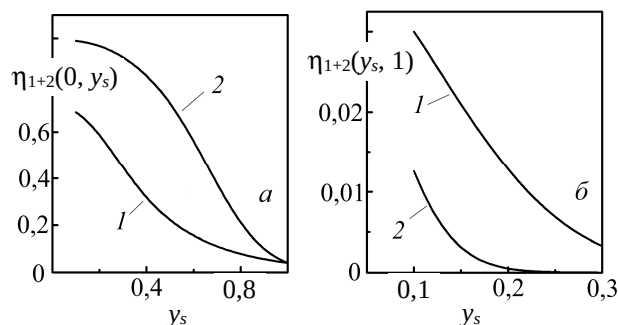
$$c_i(y) = \frac{c_{1\text{н}} A_1(y)}{c_{1\text{н}} A_1(y) + c_{2\text{н}} A_2(y) + c_{3\text{н}} A_3(y)};$$

$$A_i(y) = \frac{\Delta m_i b \exp(\Delta m_i b y^2)}{\exp(\Delta m_i b) - 1},$$

где $y = r/R_0$; $b = \Omega^2 R_0^2 / 2kT$; $n_{\text{ин}}$ — исходная плотность компонентов во входящем в зону разделения потоке.

Рассмотрим отборник с одним скиммером, который представляет собой кольцевой рассеиватель потока, расположенный на радиусе R_s . Такая конструкция подробно исследовалась в [9, 13] применительно к разделению бинарной смеси. В случае трехкомпонентной смеси учтем наличие всех составляющих смеси. Будем условно называть радиоактивной ту фракцию, которая отбирается на радиусе от $r = 0$ до $r = R_s$. В ней преимущественно концентрируются легкие первый и второй компоненты. Соответственно тяжелая фракция соответствует веществу, собранному внешним по отношению к скиммеру кольцом с внутренним R_s и внешним R_0 радиусом. Будем полагать радиус плазменного столба R равным внешнему радиусу коллектора R_0 .

На рис. 3, а показано относительное содержание компонентов массой 90 и 140 а.е.м. в радиоактивной фракции (от $y = 0$ до $y = y_s$), рассчитанное по формуле



Р и с. 3. Зависимость относительного содержания компонентов массой 90 и 140 а.е.м. в радиоактивной фракции $\eta_{1+2}(0, y_s)$ (а) и легких компонентов в тяжелой фракции $\eta_{1+2}(y_s, 1)$ (б) от параметра y_s в случае одиночного скиммера при угловой скорости вращения плазмы $1,3 \cdot 10^5$ (1), $2,6 \cdot 10^5$ с⁻¹ (2)

$$\eta_{1+2}(0, y_s) = \frac{N_1(0, y_s) + N_2(0, y_s)}{N_1(0, y_s) + N_2(0, y_s) + N_3(0, y_s)},$$

где

$$N_i(0, y_s) = \pi R^2 n_{\text{ин}} [\exp(\Delta m_i b y_s^2) - 1] / \exp(\Delta m_i b) - 1$$

— число частиц i -го компонента в цилиндре радиусом R_s единичной длины.

Рассмотрены случаи двух различных угловых скоростей вращения плазмы. Видно, что с точки зрения выделения радиоактивной совокупности массой 90 и 140 а.е.м. уже при расположении скиммера на радиусе $y_s = 0,2$ при $\Omega = 2,6 \cdot 10^5$ с⁻¹ достигается почти полное выделение радиоактивного компонента, в том числе ^{137}Cs и ^{90}Sr . С практической точки зрения представляет интерес относительное содержание 1-го и 2-го компонента в тяжелой фракции (цилиндрическое кольцо внутренним $y = y_s$ и внешним $y = 1$ радиусом):

$$\eta_{1+2}(y_s, 1) = \frac{N_1(y_s, 1) + N_2(y_s, 1)}{N_1(y_s, 1) + N_2(y_s, 1) + N_3(y_s, 1)}, \quad (7)$$

где

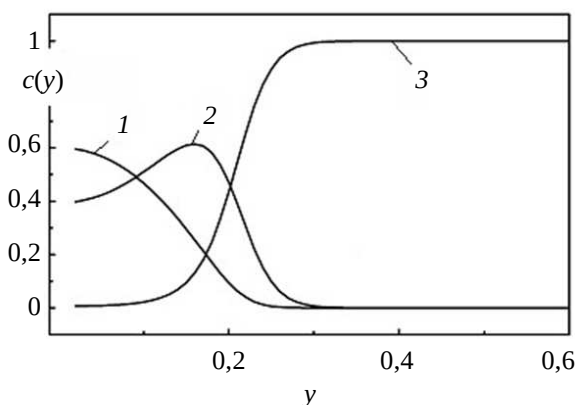
$$N_i(y_s, 1) = \pi R^2 n_{\text{ин}} \frac{[\exp(\Delta m_i b) - \exp(\Delta m_i b y_s^2)]}{\exp(\Delta m_i b) - 1}$$

— число частиц i -го компонента в цилиндрическом кольце с радиусами R_s и R единичной длины.

На рис. 3, б показано в соответствии с формулой (7) $\eta_{1+2}(y_s, 1)$, содержание легких компонентов в тяжелой фракции в зависимости от расположения скиммера y_s .

Из полученных результатов видно, например, что при $\Omega = 1,3 \cdot 10^5$ с⁻¹ (1) в случае расположения скиммера на радиусе $y_s = 0,2$ содержание легких радиоактивных компонентов в тяжелой фракции (от $y = y_s$ до $y = 1$) составляет около 1%. Однако уже при $\Omega = 2,6 \cdot 10^5$ с⁻¹ (2) ее содержание не превышает 0,05%.

На рис. 4 показано радиальное распределение локальной концентрации всех трех компонентов (1, 2 и 3-го сорта) при угловой скорости вращения плазмы $\Omega = 2,6 \cdot 10^5$ с⁻¹. Кривая 2 описывает распределение концентрации промежуточного компонента с атомной массой 140 а.е.м. Несмотря на то что его исходная кон-



Р и с. 4. Зависимость локальной концентрации трех компонентов (1, 2, 3) от радиальной координаты для угловой скорости вращения плазмы $2,6 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$

центрация составляет 0,02, в области $y \sim 0,18$ она достигает 0,62. Промежуточный компонент располагается между двумя соседними.

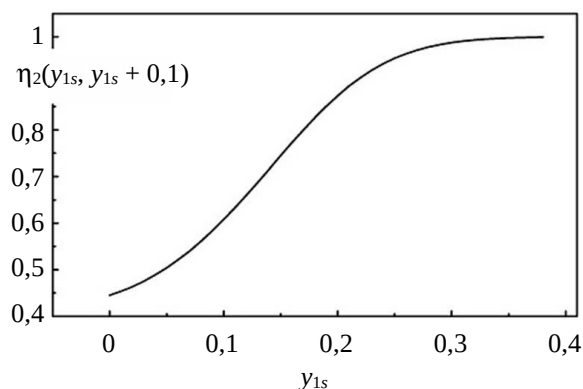
В случае тройной смеси представляет интерес вместо одного кольцевого скиммера использовать два, расположенных на радиусе $r_{s1} = y_{s1}R_0$ и $r_{s2} = y_{s2}R_0$. Тогда получаем три приемника ионов — для отбора легкой (от $y = 0$ до $y = y_{1s}$), промежуточной (от $y = y_{1s}$ до $y = y_{2s} = y_{1s} + \Delta y$) и тяжелой фракции (от y_{2s} до $y = 1$). Например, необходимо выделить промежуточный компонент с помощью отборной системы на основе двойного скиммера. В этом случае назовем внутренним скиммером рассекающий поток радиусом R_s . Положим ширину второго промежуточного приемника $\Delta R = \Delta y R = 0,1R$. Представляет интерес определить относительное количество второго компонента по отношению к суммарному содержанию первого и второго составляющих смеси в промежуточном приемнике, представляющем собой цилиндрический слой внутренним R_s и внешним $R_s + 0,1R$ радиусом:

$$\eta_2(y_{1s}, y_{1s} + 0,1) = \frac{N_2(y_{1s}, y_{1s} + 0,1)}{N_1(y_{1s}, y_{1s} + 0,1) + N_2(y_{1s}, y_{1s} + 0,1)},$$

где

$$N_i(y_{1s}, y_{1s} + 0,1) = \pi R^2 n_{\text{и}} \frac{\left\{ \exp[\Delta m_i b (y_{1s} + 0,1)^2] - \exp[\Delta m_i b (y_{1s})^2] \right\}}{\exp(\Delta m_i b) - 1}.$$

Из рис. 5 следует, что для эффективного выделения промежуточного компонента при заданных параметрах устройства центр проме-



Р и с. 5. Зависимость относительного количества второго компонента по отношению к суммарному содержанию первого и второго составляющих смеси в промежуточном приемнике $\eta_2(y_{1s}, y_{1s} + \Delta y)$ от y_{1s} при $\Delta y = 0,1$ в случае двойного скиммера при угловой скорости вращения плазмы $2,6 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$

жуточного кольцевого отборника необходимо располагать на радиусе $\sim 0,2R_0$. Отметим, что рассмотренная конструкция коллектора, в принципе, дает возможность локализации в промежуточном кольцевом отборнике ^{137}Cs и ^{149}Sm . Последний радионуклид является сильным нежелательным компонентом при повторном использовании ядерного топлива.

Осаждение выделяемых компонентов в кольцевых отборниках возможно в случае элементов металлов, к которым относятся уран и плутоний, а также щелочные, щелочно-земельные и редкоземельные элементы. Так, ^{137}Cs и ^{90}Sr , представляющие собой металлы, будут преимущественно конденсироваться на стенках цилиндрических отборников. Высота обоих отборников должна позволять выделять значительное количество осаждаемого компонента. Несомненно, следует предусмотреть и возможность отделения неконденсирующихся на охлаждаемых стенках газообразных продуктов после их прохождения через коллектор.

Отметим, что рассмотренная трехкомпонентная смесь с заданной концентрацией описывает истинный состав приближенно. Особенности распределения компонентов и их концентрации на торцевом отборнике могут изменяться в зависимости от типа перерабатываемых отходов, и в рамках предложенной модели расчета можно рассматривать другие более сложные конструкции коллектора. Если легкая фракция будет иметь более высокую исходную концентрацию — это может быть, если после

предварительной обработки топлива в смеси останется заметная доля кислорода или других относительно легких компонентов, следует при конструировании торцевой разделительной системы первый скиммер располагать на большем радиусе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юферов В.Б., Катречко В.В., Ильичева В.О. и др. Развитие концепции многостадийной очистки отработавшего ядерного топлива от продуктов деления физическими методами. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники, 2018, вып. 1(113), с. 118—125.
2. Жильцов В.А., Кулыгин В.М., Семашко Н.Н. и др. Возможность применения методов плазменной сепарации элементов в обращении с ядерными материалами. — Атомная энергия, 2006, т. 101, вып. 4, с. 302—306.
3. Rax J.-M., Gueroult R. Rotation and instabilities for isotope and mass separation. — J. Plasma Phys., 2016, v. 82, p. 595820504.
4. Тимофеев А.В. К теории плазменной переработки отработавшего ядерного топлива. — Успехи физ. наук, 2014, т. 184, вып. 10, с. 1101—1133.
5. Самохин А.А., Смирнов В.П., Гавриков А.В., Ворона Н.А. Анализ возможности разделения компонентов отработавшего ядерного топлива плазменным методом в азимутальном магнитном и радиальном электрическом полях. — Журн. техн. физики, 2016, т. 86, вып. 2, с. 127—132.
6. Gueroult R., Fisch N.J. Plasma mass filtering for separation of actinides from lanthanides. — Plasma Sources Sci. Technol., 2014, v. 23, 035002 (7 p.)
7. Fetterman A., Fisch N. The magnetic centrifugal mass filter. — Phys. Plasmas, 2011, v. 18, p. 094503.
8. Долголенко Д.А., Муромкин Ю.А. О разделении смесей химических элементов в плазме. — Успехи физ. наук, 2017, т. 187, вып. 10, с. 1071—1096.
9. Горшунов Н.М., Потанин Е.П. Использование высокочастотных полей для центробежного разделения отработавшего ядерного топлива. — Атомная энергия, 2018, т. 124, вып. 8, с. 164—169.
10. Токманцев В.И., Палкин В.А. Разделение стабильных изотопов бора в прямоточных газовых центрифугах. — Атомная энергия, 2017, т. 123, вып. 1, с. 40—45.
11. Усманов Р.А., Лизякин Г.Д., Полищук В.П., Ярцев И.М. Исследование вакуумной дуги с диффузной катодной привязкой как источника плазмы для плазменной сепарации ОЯТ. — Физическое образование в вузах, 2016, т. 22, вып. 1, с. 142—145.
12. Vorona N.A., Gavrikov A.V., Kuzmichev S.D. et al. Large helicon plasma source for the method of plasma separation of spent nuclear fuel and radioactive waste. — IEEE Trans. Plasma Sci., 2019, v. 47, № 2, p. 1223—1230.
13. Gorshunov N.M., Potanin E.P. Magnetohydrodynamic model of direct-flow high-frequency plasma centrifuge. — Plasma Phys. Rep., 2020, v. 46, p. 147—156.
14. Cohen K. The Theory of Isotope Separation as Applied to the Large-Scaled Production of ^{235}U . New York: McGraw-Hill, 1951. 184 p.

Поступила в Редакцию 21.12.21

Р е ф е р а т ы

УДК 53.082.75+621.039.534...23

Шимкевич А.Л. **Возможные искажения низкотемпературного контроля окислительно-восстановительного потенциала воды в первом контуре ВВЭР.** — Атомная энергия, 2022, т. 132, вып. 4, с. 191—195.

В жидкой воде как диэлектрике с широкой запрещенной зоной уровень Ферми является линейным идентификатором окислительно-восстановительного потенциала водной среды, который служит мерой потери электронов при окислении воды и их присоединения к ней при восстановлении. Для подавления коррозионной активности в первом контуре ВВЭР необходим отрицательный потенциал, который достигается при незначительном сдвиге компонентного состава воды H_2O_{1-z} в гипостехиометрическую область $0 < z < 25 \cdot 10^{-13}$ с образованием радикалов гидроксония H_3O^+ как самых сильных восстановителей. Однако при низкотемпературном контроле такого потенциала в первом контуре ВВЭР возможны существенные искажения его показаний. Рис. 4, список лит. 9 назв.

UDC 53.082.75+621.039.534...23

Shimkevich A.L. (NRC «Kurchatov Institute», Moscow). **Possible Distortions by the Low-Temperature-Monitoring of the Oxidation-Reduction Potential in the First Loop of VVER.** — Atomic Energy, 2022, v. 132, № 4, p. 191—195.

Fermi level is the linear identifier of oxidation-reduction potential in liquid water which is a dielectric with the wide band gap. This potential serves as a loss measure of electrons at water oxidation and their joining to it at its reduction. For suppressing the corrosion activity of VVER coolant, this potential is to be negative that is being reached at an insignificant shift of water composition H_2O_{1-z} in hypo-stoichiometric interval of $0 < z < 25 \cdot 10^{-13}$ with formation of radicals H_3O^+ as strongest reducing agents. However low-temperature-monitoring of such potential can noticeably distort these data of water coolant in the first loop of VVER. Fig. 4, ref. 9.

Продолжение см. на с. 244