

## ТРЕХКОМПОНЕНТНОЕ ПЛАЗМООПТИЧЕСКОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

**В.М. Бардаков\*, Во Нъы Зан\*\*, Г.Н. Кичигин\*\*\*, Н.А. Строкин\*\***

*\*Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск*

*\*\*ИИ Иркутский государственный технический университет, г. Иркутск*

*\*\*\*Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск*



Для плазмооптического масс-сепаратора ПОМС-Е-3 найдены режимы, в которых возможно разделение отработанного ядерного топлива на три части, соответствующие двум группам продуктов деления и трансурановым элементам. Для этой же цели предложен новый плазмооптический масс-сепаратор ПОМС-ЦВ, в котором исключен азимутатор.

**Ключевые слова:** плазмооптика, масс-сепарация, отработанное ядерное топливо, плазменный ускоритель, азимутатор, приемник ионов, продукты деления, трансурановые элементы.

**Key words:** plasma optics, mass separation, the spent nuclear fuel, plasma accelerator, whirler, receiver ions, fission products, transuranic elements.

Основными областями применения изотопов и ядерно-чистых веществ является атомная техника – топливо для атомных электростанций, конструкционные материалы в реакторостроении, замедлители и поглотители нейтронов [1]. Замкнутый ядерно-топливный цикл включает в себя переработку отработанного ядерного топлива (ОЯТ) и изготовление из выделенного материала уран-плутониевого (МОХ) топлива. До настоящего времени в мире было переработано около одной трети извлеченного из энергетических реакторов ОЯТ; остальная часть находилась в хранилищах в ожидании захоронения [2]. Причина – высокая стоимость селективной ОЯТ кинетическими методами (центрифуги, газовая диффузия) [3].

Альтернативой существующим технологиям при условии промышленной реализации могут стать плазменные методы сепарации вещества, на основе которых созданы магнитоплазменные и плазмооптические масс-сепараторы [4,5]. К настоящему времени, в той или иной степени, среди плазменных методов развиваются разделение изотопов в плазме с помощью селективного ионно-циклотронного нагрева, плазменные центрифуги, разделение изотопов в положительном столбе газового разряда [6] и в пучково-плазменном разряде [5], которые обеспечивают частичную сепарацию – выделение одного (целевого) элемента. Распределение элементов в ОЯТ (ядерный цикл  $^{235}\text{U}$  + тепловой нейтрон) показано на рис. 1. Из ОЯТ, как видно из рисунка, можно выделять не только трансурановые элементы (пик III), но и «препараты пиков I, II» – продукты деления.

© В.М. Бардаков, Во Нъы Зан, Г.Н. Кичигин, Н.А. Строкин, 2011

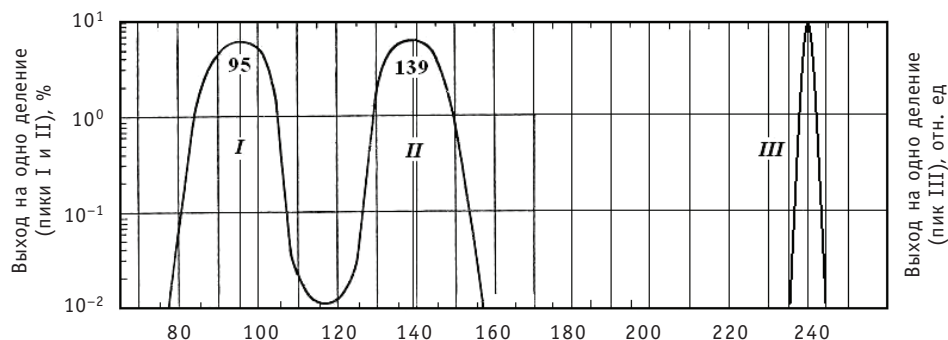


Рис. 1. Распределение элементов в ОЯТ (ядерный цикл  $^{235}\text{U}$  + тепловой нейтрон): I, II – продукты деления (осколки); III – трансурановые элементы

В данной статье мы сообщаем о разработке способа сепарации ОЯТ, который обеспечивает возможность практического использования освоенных в производстве к настоящему времени плазменных ускорителей и (впервые) разделения отработанного ядерного топлива на три группы элементов по массовым числам:  $M_I$  в диапазоне от 85 до 106,  $M_{II}$  – 134 – 155,  $M_{III}$  – 235 – 244. Предлагаются две схемы сепараторов для этой цели.

В работе [4] был предложен плазмооптический масс-сепаратор ПОМС-Е-3, созданный в результате развития идеи плазмооптического разделения изотопов ПОМС-Е [7] и позволяющий реализовать разделение ионов изотопов трех масс.

Способом масс-сепарации ПОМС-Е возможны получение квазинейтрального аксиально-симметричного потока плазмы с помощью плазменного ускорителя, транспортировка потока через азимутатор, в котором в поперечном радиальном магнитном поле ионы получают импульс в азимутальном направлении – разделяются по массам, перенос потока через сепарирующий объем (цилиндрический конденсатор, фокусировка в котором имеет место при обходе ионом азимута  $\theta_f = \pi/2^{0.5}$ ), в котором создается стационарное радиальное электрическое поле и который помещается в область однородного постоянного магнитного поля, замагничивающего электроны, но практически не влияющего на динамику ионов, что обеспечивает существование потенциала  $\phi = E_0 R \ln(r_2/r_1)$  между электродами конденсатора, разнесенными на расстояние  $r_2 - r_1$  (где  $r_2$ ,  $r_1$  – радиусы внешнего и внутреннего электродов цилиндрического конденсатора;  $E_0$  – напряженность электрического поля на радиусе  $r = R$ ), и собирание ионов на кольцевые приемники ионов, расположенные в расчетных по длине и радиусу сепарирующего объема положениях.

В ПОМС-Е-3 использовано основное свойство ПОМС-Е, состоящее в том, что все ионы кольцевого плазменного потока, проходя через кольцевую щель азимутатора, приобретают одинаковый угловой момент, равный  $D = \frac{eB_R R \Delta}{c}$ , где  $e$  – заряд

электрона,  $c$  – скорость света,  $B_R$  – индукция радиального магнитного поля в щели азимутатора,  $R$  – средний радиус щели,  $\Delta$  – ширина щели вдоль оси  $Z$ . Это означает, что все ионы одинаковой массы, вне зависимости от их продольной скорости (по оси  $Z$ ), а значит, и от кинетической энергии иона  $W$  в исходном плазменном потоке, в радиальном направлении будут двигаться одинаково. Было показано [4], что анализ радиального движения ионов в ПОМС-Е-3 можно проводить на языке потенциальной энергии  $U(r)$ :

$$\ddot{r} = -\partial U / \partial r; \quad \frac{\dot{r}^2}{2} + U(r) = W_R = \text{const},$$

где  $W_R$  – полная (кинетическая плюс потенциальная) энергия иона, связанная с радиальным движением;  $U(r) = V_{\phi 40}^2 G(r)$ , где  $V_{\phi 40} = \frac{D}{M_0 R}$  – азимутальная скорость на

выходе из азимутатора иона центральной массы  $M_0$ ;  $G(r) = \frac{1}{2} \left( \frac{M_0}{M} \right)^2 \left( \frac{R^2}{r^2} - 1 \right) + \frac{M_0}{M} \ln \frac{r}{R}$ .

Для немонотонного плазменного потока при решении уравнений  $G(M_2, r_2) = 0$ ;  $G(M_1, r_1) = 0$  были получены значения радиусов  $r_1$  и  $r_2$  приемных цилиндров, на которые приходят в результате разделения ионы с массами  $M_1$  и  $M_2$ . Требование того, чтобы ионы массой  $M_0$  приходили на торцевой приемник ионов (не пересекали при своем движении цилиндрические поверхности радиусами  $r_1$  и  $r_2$ ) дало условие на угловую расходимость плазменного потока. Длина цилиндрических приемников ионов была определена как

$$L_{Z_{\max}} = \sqrt{V_{\max}^2 - V_{\phi 40}^2} \cdot \frac{T_0}{2},$$

где  $V_{\max} = (2W_{\max}/M_0)^{0.5}$ ; максимальная энергия  $W_{\max}$  определяется разностью потенциалов в ускорителе;  $T_0 = 2\pi/\omega_0$ ;  $\omega_0^2 = 2V_{\phi 40}^2 / R^2$ .

Как уже говорилось (см. рис. 1), для ОЯТ существуют три пика в распределении элементов с наиболее вероятными массами  $M_{I.HB} = 95$ ,  $M_{II.HB} = 139$  и  $M_{III.HB} = 239$ . Учитывая результаты работы [4], отметим, что радиусы цилиндрических приемников уменьшаются с ростом массы  $M$  иона; и, наоборот, чем меньше масса  $M$ , тем радиус цилиндрического приемника больше. Решение уравнения

$$G(M_{III} - \delta M_{III}, R_{\min}) = 0,$$

где  $\delta M$  – разброс масс около наиболее вероятной для соответствующего пика, дает значение радиуса  $R_{\min}$ , на котором следует расположить цилиндрический приемник всех ионов с массами  $M_{III} \pm \delta M_{III}$  (частицы пика  $M_{III}$ ). Ионы массами  $M > M_{III} - \delta M_{III}$  заведомо попадут на данный приемник, так как точки поворота их траекторий (изменения направления движения на обратное – от оси) для них находятся на радиусах, меньших  $R_{\min}$ . Цилиндрический приемник всех ионов с массами  $M_I \pm \delta M_I$  необходимо расположить на радиусе  $R_{\max}$ , который определяется из уравнения  $G(M_I + \delta M_I, R_{\max}) = 0$ ; при этом на цилиндр с  $r = R_{\max}$  придут все частицы пика  $M_I$ . Ионы массами  $M < M_I + \delta M_I$  обязательно останутся на приемнике радиусом  $r = R_{\max}$ , так как их точки поворота лежат на расстоянии, превышающем  $R_{\max}$ . Следовательно, плазмооптический масс-сепаратор ПОМС-Е-3 может быть применен для целей разделения ОЯТ: на внутреннем приемном электроде ( $r_1$ ) будут собираться все трансурановые элементы (ионы пика III); на приемник большого радиуса ( $r_2$ ) придут все ионы, соответствующие пику I; на торцевой приемник – элементы пика II (рис. 2). Трансурановые элементы передаются после выделения для изготовления МОХ-топлива. «Минорные» элементы, уже частично разделенные на первой стадии масс-сепарации, в дальнейшем могут или разделяться с помощью того же перенастроенного ПОМС-Е-3, или передаваться на электромагнитный масс-сепаратор.

В создаваемом макете масс-сепаратора предусматривается (как первый шаг) работа на плазме смеси трех (азот, аргон, криптон) газов. При этом радиусы  $R_{\min} = 46$  мм ( $0,513R$ ),  $R = 90$  мм,  $R_{\max} = 339$  мм ( $3,77R$ ), длина электродов  $L_{Z_{\max}} = 626$  мм ( $6,96R$ ) при радиальном магнитном поле в зазоре азимутатора око-

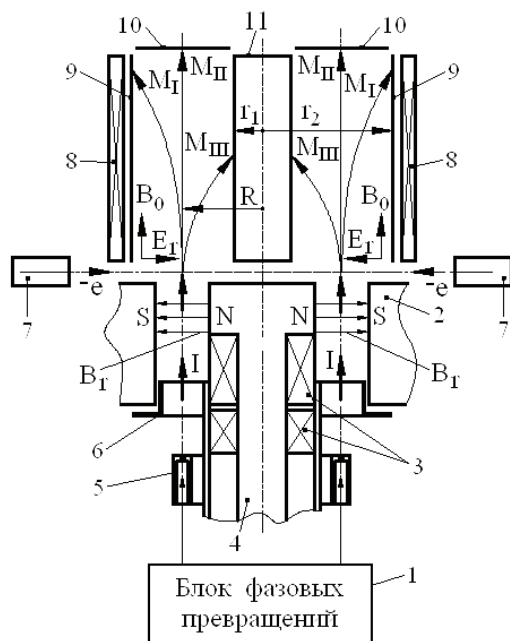


Рис. 2. Плазмооптический масс-сепаратор ПОМС-Е-3: 1 – блок фазовых превращений; 2 – азимутатор; 3 – магнитные катушки; 4 – магнитный сердечник; 5 – газораспределитель; 6 – анод; 7 – катод (электронная пушка сопровождения); 8 – система создания продольного магнитного поля; 9, 11 – цилиндрические электроды системы создания радиального электрического поля (набор торцевых кольцевых электродов для упрощения рисунка не показан); 9–11 – приемники разделенных изотопов (элементов) пучка

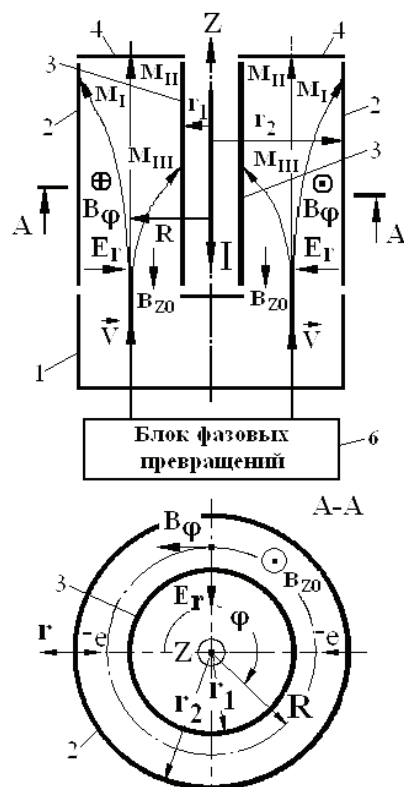


Рис. 3. Схематичное изображение масс-сепаратора ПОМС-ЦВ с обозначением анализирующих полей и геометрических элементов, необходимых при расчете устройства

ло 3 кГс, продольном магнитном поле в сепарирующем объеме 80 Гс, напряжении между внешним и внутренним цилиндрами  $U \leq 200$  В, разрядном напряжении в плазменном ускорителе 200–300 В, разрядном токе  $I \leq 300$  мА.

В ПОМС-Е-3 траектория иона определяется действием противоположно направленных сил – со стороны радиального электрического поля и центробежной силы, определяемой азимутатором. Если в рамках задачи сепарации ионов из кольцевого плазменного потока отказаться от азимутатора как «сложного» элемента установки, но сохранить сепарирующий объем с радиальным электрическим полем, то необходимо найти другую противодействующую радиальную силу, так как центробежной силы в данном случае не будет. Такой силой для плазменного потока, движущегося вдоль оси  $Z$ , может стать сила Лоренца, которая появится в сепарирующем объеме при создании в нем азимутального магнитного поля (поля линейного тока, протекающего вдоль оси сепаратора).

Далее мы кратко обоснуем возможность реализации для моноэнергетического плазменного потока нового плазмооптического масс-сепаратора без азимутатора, но с азимутальным и слабым, не влияющим на динамику ионов, но обеспечивающим эквипотенциализацию силовых линий магнитного поля электронами [9, 10], продольным магнитными полями, который назовем ПОМС-ЦВ (ЦВ – «цилиндрический сепаратор Вина, так как конфигурация полей ПОМС-ЦВ соответствует известному фильтру Вина, магнитное и электрическое поля в котором, однако, плоскостные [8]).

Решение задачи определения динамики сепарируемых ионов проведем в цилиндрической геометрии  $(r, \varphi, z)$  в приближении плазмооптики [9, 10]. ПОМС-ЦВ (рис. 3) содержит, как и ПОМС-Е-3, плазменный ускоритель 1, который может выполняться по схеме как ускорителя с анодным слоем, так и стационарного плазменного двигателя; внешний цилиндрический приемник ионов 2; внутренний цилиндрический приемник ионов 3; торцевой кольцевой приемник ионов 4; электронную пушку сопровождения 5 (символ  $-e$ ) и блок фазовых превращений 6, переводящий твердое ОЯТ в газообразное состояние. На рисунке также приведены обозначения для радиального электрического поля, создаваемого электродами 2, 3 и набором расположенных на торцах кольцевых электродов (на рисунке они не показаны), азимутального и продольного магнитного полей.

Рассмотрим движение ионов массой  $M$  в заданных электрическом и магнитном полях в праввинтовой цилиндрической системе координат. Ион стартует из точки с координатами  $r = R, \varphi = z = 0$ . Радиальная компонента электрического поля вблизи радиуса  $r = R$  изменяется как  $E_r(r) = -ER/r$ , где  $E = E_r(R)$ ; азимутальная компонента магнитного поля  $B_\varphi(r) = -B_0R/r$ , где  $B_0 = B_\varphi(R)$ . Отметим, что закон распределения электрического поля по радиусу для проявления эффекта сепарации для ПОМС-ЦВ не важен (как и для ПОМС-Е-3). В исходные уравнения введем малую продольную компоненту магнитного поля  $B_z = -B_{z0} = \text{const}$ , обеспечивающую продольное движение электронов, компенсирующих амбиполярный потенциал. Траектория иона тогда будет описываться следующими уравнениями:

$$Md^2r/dt^2 = Mr(d\varphi/dt)^2 - eER/r + eRB_0(dz/dt)/(cr) - eB_{z0}r(d\varphi/dt)/c, \quad (1)$$

$$Md(r^2d\varphi/dt)/dt = erB_{z0}(dr/dt)/c, \quad (2)$$

$$Md^2z/dt^2 = -[edr/(dt)] \times RB_0/(cr). \quad (3)$$

Обозначим начальную скорость иона вдоль оси  $Z$  через  $v_{z0}$ . Пусть для иона центральной массы  $M_0$  скорость  $v_{z0} = v_d = cE/B_0$ , где  $v_d$  – скорость электрического дрейфа. Такой ион будет двигаться строго прямолинейно вдоль оси  $Z$ . Будем рассматривать плазменный поток с моноэнергетичными (энергия  $W_{||} = M_0v_d^2/2$ ) ионами. Если ввести безразмерные функцию  $\chi = r/R$  и переменную  $\tau = v_d t/R$ , то уравнения (1)–(3) можно свести к одному уравнению следующего вида:

$$d^2\chi/d\tau^2 = \varepsilon\mu(\mu^{1/2} - \varepsilon\mu\ln\chi - 1)/\chi + \chi\delta\varepsilon\mu^2\left(\frac{1}{\chi^4} - 1\right), \quad (4)$$

где  $\varepsilon = eB_0R/(M_0cv_d)$ ,  $\mu = M_0/M$ ,  $\delta = \varepsilon \frac{B_{z0}^2}{4B_0^2}$  – безразмерные параметры.

Второй член в правой части уравнения (4) описывает влияние продольной составляющей магнитного поля  $B_z$ . Им можно пренебречь, если параметр  $\delta \ll 1$ . Для такого случая в параксиальном приближении из (4) получится уравнение

$$\frac{d^2\theta}{d\tau^2} + \varepsilon^2 \left[ \theta + \frac{1}{2\varepsilon} \frac{\delta M}{M_0} \right] = 0, \quad (5)$$

где  $\theta = \chi - 1$ ,  $\frac{\delta M}{M_0} \ll 1$ ,  $M = M_0 + \delta M$ .

Решение уравнения (5) с начальными условиями  $\theta(\tau = 0) = 0$ ,  $\theta'(\tau = 0) = 0$  для иона массой  $M$  будет таким:

$$\theta(\tau) = \frac{1}{2\varepsilon} \frac{\delta M}{M_0} (\cos \varepsilon \tau - 1), \quad (6)$$

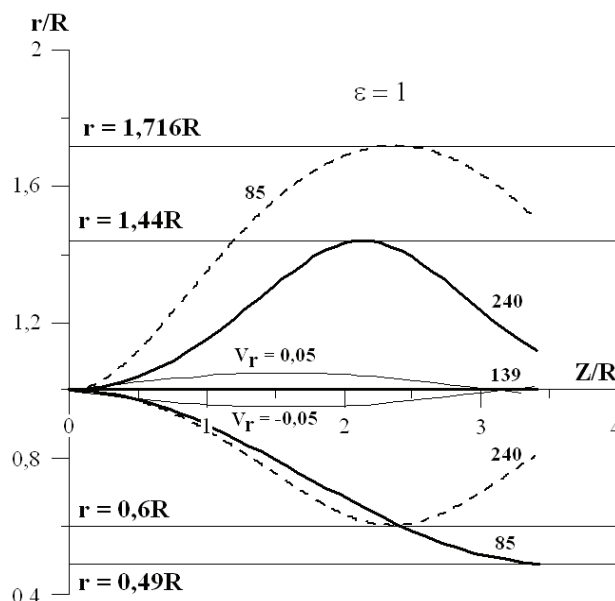


Рис. 4. Траектории движения ионов в масс-сепараторе ПОМС-ЦВ (сплошные линии) и масс-сепараторе ПОМС-Е-3 (штриховые линии), работающих в режиме разделения химических элементов, имеющих массы 85, 139 и 240 (цифры у кривых). Тонкими сплошными линиями показаны «фокусирующиеся» траектории ионов центральной массы  $M_0$  в масс-сепараторе ПОМС-ЦВ, которые на входе в устройство имеют угловой разброс – амплитуда радиальной скорости  $V_r/V_d = \pm 0,05$ . Указаны радиусы цилиндрических приемников разделенных ионов

а решение уравнения (5) для иона центральной массы  $M_0$  с начальной радиальной скоростью  $\theta'(\tau = 0) = V_r$  имеет вид

$$\theta(\tau) = V_r \sin \varepsilon \tau. \quad (7)$$

Численные расчеты уравнений (1)–(3) при  $B_z = 0$  подтверждают применимость параксиального приближения при  $\frac{\delta M}{M_0} \ll 1$ . Отметим, что одновременная инвер-

сия знака радиального электрического поля и азимутального магнитного поля в ПОМС-ЦВ приводит к изменению направления радиального смещения иона. Это продемонстрировано при расчете траекторий для реальных масс ОЯТ (рис. 4), где ионы с массой большей  $M_0$  отклоняются в сторону увеличения расстояния от оси. Заметим, что для ПОМС-Е ионы с массами, превышающими  $M_0$ , отклоняются только в сторону убывания расстояния от оси. Режим ПОМС-ЦВ отличается от варианта ПОМС-Е-3 тем, что для заданного значения параметра  $\mu$  при  $\varepsilon < 1$  в точке по оси  $Z$ , в которой при наличии начального углового разброса происходит пространственная фокусировка ионов центральной массы, отклонение по радиусу других ионов, следовательно, и разрешение по массам превышают отклонения в случае ПОМС-Е-3.

Сепаратор ПОМС-ЦВ работает следующим образом. В плазменном ускорителе создается квазинейтральный многокомпонентный, соответствующий составу ОЯТ, кольцевой поток плазмы. Из ускорителя поток попадает в сепарирующий объем, в котором созданы скрещенные постоянные во времени поля – радиальное электрическое  $E_r$  и азимутальное аксиально-симметричное магнитное  $B_\phi$ . В комбинации созданных электромагнитных полей ионы центральной массы  $M_0$ , имеющие скорости, равные дрейфовой скорости  $v_d$ , проходят на торцевой приемник ионов 4; другие ионы разделяются в соответствии со своими массами и поступают, соответственно, на приемники 2 и 3 (см. рис. 3, 4). Нарушение нейтральности плаз-

мы при разделении ионов компенсируется «электронами сопровождения» электронной пушки, движение которых определяется действием продольного и азимутального магнитного полей.

Таким образом, в статье описан способ плазмооптического разделения отработанного ядерного топлива на три группы элементов в соответствии с наиболее вероятными массовыми числами и представлены два новых варианта плазмооптических масс-сепараторов, в которых возможно как традиционное разделение трех элементов, так и сепарация ОЯТ.

Работа выполнена в рамках проекта № 4222 аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 гг.)».

### Литература

1. World Nuclear Association. Reactor date. Nuclear electricity production and percentage of electricity // <http://www.world-nuclear.org>.
2. Бузовский В.П. Перспективы переработки отработанного ядерного топлива // Промышленные ведомости. – 2007. – №10.
3. Беркхаут Ф. Международная коммерческая деятельность по переработке отработанного топлива/Институт исследований энергетики и окружающей среды // Энергетика и безопасность. – 2002. – № 2.
4. Бардаков В.М., Кичигин Г.Н., Строкин Н.А. Масс-сепарация ионов кольцевого плазменного потока // Письма в ЖТФ. – 2010. – Т. 36. – Вып. 4. – С. 75-80.
5. Скибенко Е.И. Физико-технические аспекты создания устройств магнитоплазменного разделения вещества на элементы и их изотопы на основе пучково-плазменного разряда // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники. – 2009. – №6. – С. 67-85.
6. Изотопы: свойства, получение, применение. В 2 тт. Т. 1/Под ред. В.Ю. Баранова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 600 с.
7. Морозов А.И., Савельев В.В. Осесимметричные плазмооптические масс-сепараторы // Физика плазмы. – 2005. – Т. 31. – № 5. – С. 458-465.
8. Соловьев А.В., Толстогузов А.Б. Определение ионно-оптических характеристик фильтра Вина с однородными ортогональными полями // Журнал технической физики. – 1987. – Т. 57. – Вып. 5. – С. 953-959.
9. Морозов А.И., Лебедев С.В. Плазмоптика // Вопросы теории плазмы/Под ред. М.А. Леонтовича. Т. 8. – М.: Атомиздат, 1974. – С. 264.
10. Гришин С.Д., Лесков Л.В., Козлов Н.П. Плазменные ускорители. – М.: Машиностроение, 1983. – С. 204.

Поступила в редакцию 3.02.2011



conjugated problem of heat transfer in the pipe at constant heat flux from pipe wall and problem with heat release in the wall.

**УДК 539.1.07:621.384.8**

*Plasma-optical three-division Spent Nuclear Fuel* \V.M. Bardakov, Vo Nhu Dan, G.N. Kichigin, N.A. Strokin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 7 pages, 4 illustrations. – References, 10 titles.

For plasma-optical mass separator POMS-E-3 found the modes in which a separation of spent nuclear fuel into 3 parts, corresponding to two groups of fission products and transuranic elements. Proposed for the same purpose, a new plasma-optical mass separator POMS-CV, which excluded whirler.

**УДК 621.039.5**

*Mastering of the fast sodium reactor technology. Construction of the BN-800 reactor* \D.L. Zverev, B.A. Vasilev, V.Yu. Sedakov, N.G. Kuzavkov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 13 pages, 6 tables, 6 illustrations. – References, 12 titles.

The main aim of the BN-800 reactor construction is the perfection of the closed fuel cycle. The measures to improve BN800 reliability, safety and economic performance as compared to its predecessor BN-600 are focused upon.

**УДК 621.314.5**

*Modeling of Unit Power Supply of Nuclear Power Plant* \K.K. Krutikov, V.V. Rozhkov, V.N. Ivanov, E.A. Perfilyev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 8 pages, 6 illustrations. – References, 7 titles.

In the soft of MatLab the package of the models is developed, allowing to investigate the basic modes of functioning of blocks of units of an uninterrupted food in updating for Nuclear Power Plant. The comparative analysis of units of the uninterrupted food which is let out by different firms is given, results of modeling of one of possible enough difficult scenarios of work of the unit are resulted.

**УДК 621.039.566**

*Radiological Aspects of Nuclear Power Plant Accidents* \V.A. Kutkov, V.V. Tkachenko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 11 pages, 5 tables, 1 illustration. – References, 24 titles.

The article deals with international recommendations for the protection of the public in radiation emergency. Comparison of the rules and regulations of the Russian Federation, the governing radiation protection of workers and the public in the event of nuclear accidents at NPP, with relevant international guidelines, shows that this national system is not complete and requires a revision of the regulatory framework to bring it into compliance with IAEA safety standards.

**УДК 621.039.548.5**

*Estimation of the WWER-1000 Fuel Element Cladding Damage Parameter Axial Distribution at Day Cycle Power Maneuvering* \M.V. Maksimov, S.N. Pelykh, O.V. Maslov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 9 pages, 6 tables, 5 illustrations. – References, 7 titles.

A calculation estimation of the WWER-1000 fuel element cladding damage parameter axial distribution at day cycle power maneuvering, taking into account the fact that the fuel element axial segments and fuel assemblies differ greatly in their local linear heat rate jump and stationary power values, has been done. It has been obtained that on condition that the fuel element length is divided into eight equal axial segments, the sixth (counting from the core bottom) axial segment cladding durability limits the WWER-1000 operation time at day cycle power maneuvering.