

А.М. ЕГОРОВ, д-р физ.-мат.наук, зам. ген. директора, ННЦ "ХФТИ", Харьков
В.Б. ЮФЕРОВ, д-р техн. наук, проф., нач. отдела, ННЦ "ХФТИ", Харьков
С.В. ШАРЫЙ, м.н.с., ННЦ "ХФТИ", Харьков
О.С. ДРУЙ, руководитель группы, ННЦ "ХФТИ", Харьков
В.О. ИЛЬИЧЕВА, ведущий инженер - исследователь ННЦ "ХФТИ"
М.О. ШВЕЦ, инженер-исследователь ННЦ "ХФТИ", Харьков
В.И. ТКАЧЕВ, м.н.с., ННЦ "ХФТИ", Харьков
Т.И. ОЛЬХОВСКАЯ, магистрант, НТУ "ХПИ"
А.С. СВИЧКАРЬ, магистрант, НТУ "ХПИ"

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ПЛАЗМЕННАЯ УСТАНОВКА ДИС-1 ДЛЯ ИМИТАЦИОННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Створено експериментальна електромагнітна плазмова установка для імітаційного плазмового розділення елементів у відпрацьованому ядерному паливі. Результати експериментів свідчать про можливість розділення елементів в плазмі, що обертається. З причини малих магнітних полів та малої прискорювальної напруги енергетичні витрати близькі до 0,5кеВ/іон.

Создана экспериментальная электромагнитная плазменная установка для имитационного плазменного разделения элементов в отработанном ядерном топливе. Результаты экспериментов свидетельствуют о возможности разделения элементов во вращающейся плазме. Ввиду малых магнитных полей и ускоряющих напряжений энергетические затраты близки к 0,5кэВ/ион.

Актуальность проблемы. Проблема регенерации отработанного ядерного топлива (ОЯТ) является актуальной и нерешенной. Существующие электромагнитные сепараторы могли бы решить задачу регенерации ОЯТ при условии повышения производительности на 3 порядка (ток ионов $\sim \geq 100\text{A}$) и снижении энергозатрат на 2 порядка (ускоряющее напряжение $\sim 0,5-1,0\text{kV}$). Принципы создания сепараторов, отвечающих этим требованиям, заложены в работах [1, 2]. В этих исследованиях се-

парация ионов происходила в плазме, находящейся в продольном магнитном и перпендикулярном ему электрическом поле. Такая конфигурация приводит к вращению плазмы с частотой $\omega_E = E/r \cdot H$, где E и H – величины напряженностей электрического и магнитного поля, r – радиус плазмы. При возникновении ионно-циклотронной неустойчивости, когда $\omega_E = \omega_{ci}/2$, где ω_{ci} – частота циклотронного вращения ионов данной массы, ионы, попавшие в резонанс (литий, аргон), ускорялись до ~ 200 эВ и уходили вдоль оси магнитного поля. Эксперименты проводились с плазмой плотностью $\sim 10^8$ см⁻³.

Цель настоящих исследований – разработка и создание экспериментальной установки для исследования процесса разделения элементов, а также исследование возможности отделения тяжелых компонентов ОЯТ от легких при энергозатратах около $1 \cdot 10^3$ эВ/атом.

Выбор направления. Для решения задачи регенерации ОЯТ необходимо поднять плотность плазмы до $\sim 10^{11} - 10^{13}$ см⁻³ [3]. Работы [4, 5], которые являются техническим предложением, опирающимся на теорию [1, 2], ставят задачу обработки ОЯТ на пределе экспериментально-технических возможностей. Подход, позволяющий решить поставленную задачу в наших условиях, предлагается в работе [6]. На начальном этапе нет необходимости проводить эксперименты на материалах ТВЭЛа (рис. 1,а). В качестве объекта, имитирующего ОЯТ (рис. 1,б), выбраны смеси газов Хе-Кг-Аг-(воздух) и СО₂-Кг-Хе (рис. 1,в), которые имитируют плазму UO₂, Zr и продукты деления [7, 8].

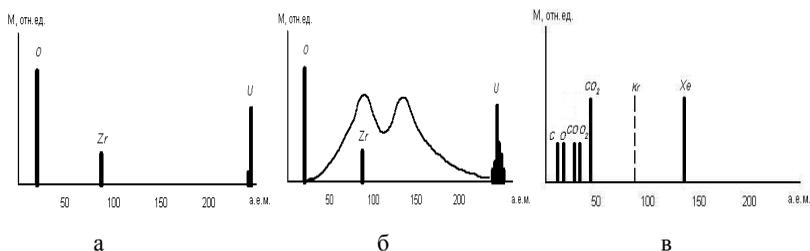


Рис. 1.

Экспериментальная установка. Схематический вид экспериментальной установки представлен на рис. 2, где 1 – вакуумная камера (диаметр камеры $D = 0,38$ м, длина камеры $L = 1,75$ м); 2 – плазменный источник (эквивалентный ток 2 А); 3 – магнитная система ($H_{\max} = 0,35$ Тл); 4 – коаксиальная система электродов для создания радиального

электрического поля; 5 и 6 – торцовый и осевой многоламельные коллекторы; 7 – крионасос для откачки нейтральных частиц. Пунктирными линиями представлены силовые линии магнитного поля. Сплошными линиями показаны направления движения ведущих центров отдельных ионов, Xe, Kr, Ar. Короткие стрелки – нейтральный газ.

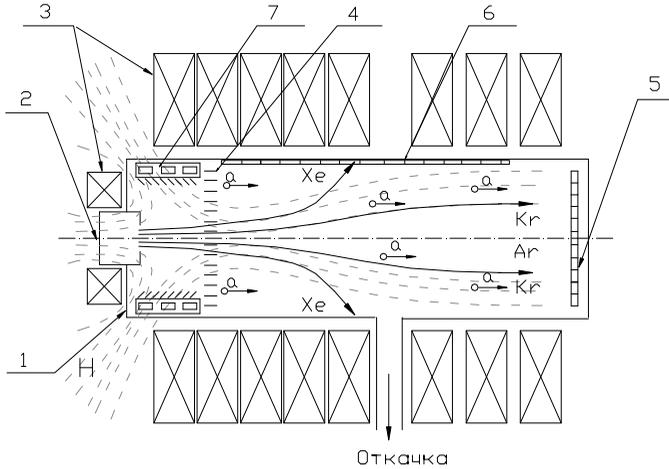


Рис. 2.

Сценарий эксперимента. Многокомпонентная плазма из плазменного источника ($n_i \approx 2 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$) движется вдоль силовых линий. В области спадающего магнитного поля она выходит на коллекторы, расположенные в торце вакуумной камеры. При включении радиального электрического поля E плазма начинает вращаться в скрещенных радиальном электрическом поле и продольном магнитном поле H с частотой $\omega_E \approx E/r \cdot H$.

При достижении условия $\omega_E = \omega_{ci}/2$, где ω_{ci} – циклотронная частота иона с массой μ_i в магнитном поле, происходит резонансное ускорение ионов. Ускоренные ионы могут выйти на стенки вакуумной камеры в некой кольцевой области. Также возможен выход в осевом направлении. Декремент ИЦР – неустойчивости или скорость роста энергии ионов (за один оборот) велик, $\omega_E = \omega_{ci}$, [9, 10]. Таким образом, появятся сигналы на продольных коллекторах, расположенных по образующей вдоль стенки вакуумной камеры. Одновременно токи на коллекторы, располагающиеся в торце вакуумной камеры, должны

уменьшиться. В идеальном случае – на величину, пропорциональную концентрации данных ионов в плазме. На антеннах и коллекторах, располагаемых в камере, должны появиться сигналы с резонансной частотой, а также сигналы с кратными частотами – $\omega_{ci}/8$, $\omega_{ci}/4$, $\omega_{ci}/2$.

В дальнейшем предполагается измерять изменение массового состава ионов в области торцевого коллектора при включении E_r , проводить десорбционный анализ газов с поверхностями продольного коллектора, а также измерять потоки нейтральных атомов перезарядки на боковые поверхности камеры и т.д.

Магнитная система. Учитывая то, что частота вращения плазмы в скрещенных E и H полях описывается выражением $\omega_E \approx E/r \cdot H$, а ИЦР – неустойчивость возникает при выполнении условия: $\omega_E = \omega_{ci}/2$, необходимо размещать область вращения плазмы в падающем по величине магнитном поле.

Таким образом, конфигурация магнитного поля, где происходит сепарация, может быть представлена в следующих вариантах:

1. Осевое распределение магнитного поля с однородным участком в центральной области, симметрично убывающее по сторонам, рис. 3,а. Такая конфигурация использовалась в работах [1, 2, 4], и выход резонансно ускоренных ионов происходил вдоль оси магнитного поля [1, 2].

2. Пробочная магнитная ловушка, рис. 3,б. В этом случае описанные выше процессы должны происходить в одной из ее половин, в области падающего по величине магнитного поля. Такая конфигурация описана в работе [9], где исследовался нагрев однокомпонентной водородной вращающейся плазмы с радиальным выходом ионов.

3. Осевое распределение магнитного поля с односторонней удлиненной областью падающего по величине магнитного поля (рис. 3,в).

В работах [1, 2, 4, 5] плазма создавалась внутри магнитной системы. В нашей системе плазма инжектируется извне, поэтому целесообразны вторая и третья конфигурации. На первом этапе экспериментов выбрана третья конфигурация (рис. 3,в).

Данная магнитная система характеризуется наличием криволинейных и неоднородных магнитных полей. В таких условиях имеет место дрейф заряженных частиц со скоростью $\vec{u} = mc(v_{\perp}^2 + 2v_{\parallel}^2) \cdot \vec{h} \times \text{grad } H / (2qH^2)$ [11], где \vec{u} – скорость дрейфа частицы, v_{\parallel} и v_{\perp} – компоненты скорости частицы вдоль силовых линий

магнитного поля и поперек к ним, m – масса частицы, q – заряд частицы, c – скорость света, H – напряженность магнитного поля, \vec{h} – единичный вектор вдоль направления H .

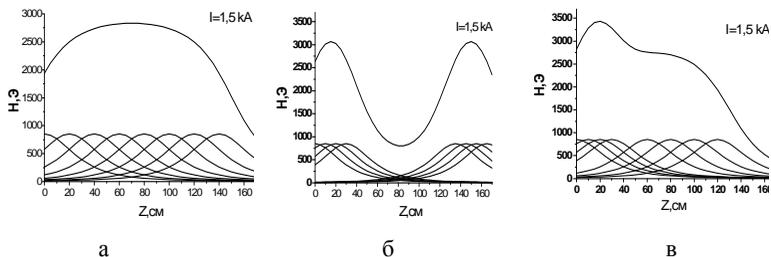


Рис. 3.

Этот дрейф может послужить дополнительным фактором, влияющим на процесс разделения заряженных частиц по массам. Данное рассмотрение применимо при скоростях изменения величины магнитного поля как в пространстве, так и во времени, не нарушающих условий адиабатического инварианта. Таким образом, реальные траектории ионов могут быть определены только экспериментально.

Система радиального электрического поля. На рис. 4,а,б представлены системы создания радиального электрического поля и его схема электропитания.

Конструктивно схема электропитания выполнена таким образом, что позволяет управлять распределением потенциалов электрического поля на коаксиальных электродах.

Выбор параметров схемы электропитания произведен с учетом эмиссионных свойств плазмы, которые могут быть оценены с помощью выражения: $j_i = 0,4en_i \cdot (2kTe/m)^{1/2}$, где n_i – плотность плазмы (см^{-3}), j_i – плотность потоков ионов или электронов, ($\text{А}/\text{см}^2$). Величины эмиссионных свойств для различных плотностей водородной плазмы представлены в табл. 1, при переходе к неводородной плазме величина поправочного коэффициента будет – $(m_H / m_M)^{1/2}$.

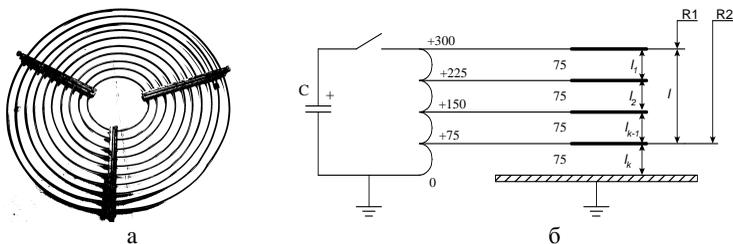


Рис. 4.

В проводимых экспериментах плотность плазмы находится в интервале $10^{10} - 10^{11} \text{ см}^{-3}$, а суммарная площадь всех электродов – колец составляет $\sim 100 \text{ см}^2$, потому с 10-кратным запасом (вернее, чтобы подсадка напряжения на кольцах не превышала 10%) величина необходимого тока в цепи оценена как 0,1–1кА.

Таблица 1 – Эмиссионные параметры для различных плотностей водородной плазмы.

$n_i, \text{ см}^{-3}$	10^{11}	10^{12}	10^{13}	10^{14}
$j_+, \text{ А/см}^2$	0,025	0,25	2,5	25
$j_-, \text{ А/см}^2$	1,0	10,0	100,0	1000,0

Плазменный источник является одной из основных систем, создающих многокомпонентную плазму, в которой при выполнении условий резонанса происходит процесс разделения ионов по массам. Три основных параметра: плотность плазмы, температура и поперечное сечение плазменного столба задаются плазменным источником и магнитной конфигурацией. Эти же величины определяют и энергетику ПИ. Энергозатраты могут быть выражены как $W = nSqV$, где n, S, V – плотность, сечение и скорость плазмы соответственно, q – "энергетическая стоимость" одной ионно-электронной пары, которая в большинстве случаев лежит на уровне 100-200эВ/ион-электронную пару при температуре плазмы $T_i=T_e=5$ эВ. Производительность сепаратора определяется как $m = M\Delta\mu V_{||} n_i \alpha St$ [6], где M – атомный вес элемента или изотопа, $\Delta\mu$ – его процентное содержание, $V_{||}$ – продольная скорость плазмы, n_i – концентрация ионов плазмы, S – сечение плазмы, α – КПД сепарации ионов, t – время работы. Коэффициент α является

составным и зависит от целого ряда параметров $\alpha = \beta\delta\kappa\lambda\gamma\dots$. Его величина по ряду причин всегда меньше единицы $\alpha = \beta\delta\kappa\lambda\gamma\dots < 1$.

Очевидно, что максимальная производительность будет при стационарном режиме работы, поэтому работы на ДИС-1 проводились в квазистационарном режиме. Чтобы энергетические и тепловые процессы не составили трудностей, выбран диапазон плотностей плазмы на уровне $10^{10} - 10^{11} \text{ см}^{-3}$. Электронная и ионная температуры определяются уровнем в 3–5 эВ, т.е. эквивалентный ионный ток сепаратора находится на уровне 1–10 А. Приведенные величины могут быть получены при энергозатратах на уровне 0,15–2,0 кВт и длительности импульса – до 5 с.

Выше мы уже обсуждали возможный выбор рабочих веществ для имитации ОЯТ. Металлическая плазма, несмотря на продвинутую технологию вакуумно-дуговых распылителей, на первой стадии экспериментов не используется, поскольку создаст значительные трудности за счет значительной доли капельно-кластерной фазы и из-за отсутствия ПИ, создающего однородную плазму по всему сечению разрядной камеры [12].

Дополнительное условие ограничения плотности плазмы n_i вытекает из необходимости исключить в процессе нагрева деселектирующее влияние столкновений ионов, частота которых: $\nu_{ii} = 5 \cdot 10^{-7} n_i / T_i^{3/2} \sqrt{M}$ (T_i – температура ионов, эВ; M – атомный вес). Из условия селективности нагрева $\nu_{ii} / \omega_{ci} \ll \Delta M_i / M_i$ следует, что для разделения ксенона и криптона с разностью масс ΔM_i , равной 48, предельные значения плотности ионов n_i при температуре 20 эВ находятся в диапазоне $10^{11} - 10^{12} \text{ см}^{-3}$.

В процессе выбора были проведены эксперименты с тремя типами стационарных плазменных источников: ВЧ - источниками, двухступенчатыми вакуумно-дуговыми источниками, источниками с дрейфом электронов [12-14]. На данном этапе работы проводятся с использованием стационарного газового источника с дрейфом электронов [7], рис. 5, где 1 – корпус; 2 – катод; 3 – анод; 4 – газораспределительная вставка; 5 – магнитная катушка; 6 – сердечник с отверстием для напуска газа; 7 – алундовые кольца; 8 – фланец из нержавеющей стали; 9 – система водяного охлаждения.

Ток и напряжение на разрядном промежутке источника в зависимости от величины собственного магнитного поля представлены на рис. 6.

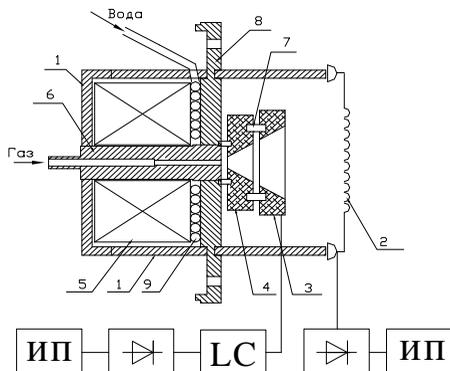


Рис. 5.

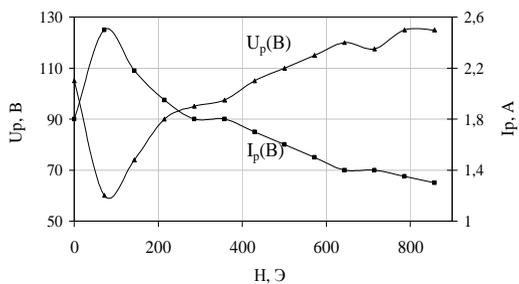


Рис. 6.

На рис. 7 приведены два варианта распределения магнитного поля в области расположения плазменного источника: встречное и последовательное включение магнитного поля источника и ведущего поля установки.

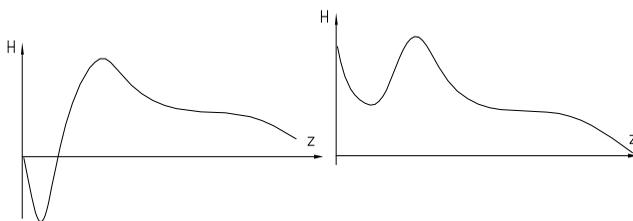


Рис. 7.

Выбор варианта включения позволяет управлять в определенных пределах начальным распределением радиальной плотности плазмы в магнитной системе, а также начальными величинами продольной и поперечной скоростей ионов в области сепарации.

Вакуумная система. Во всех сепарационных установках вакуумные условия определяются процессами перезарядки ускоренных ионов на нейтральном газе, поэтому размеры траекторий ускоренных ионов от области ускорения до коллекторов должны быть меньше длины свободного пробега до перезарядки, т.е. $\pi R < \lambda = n_0 \sigma_n l$ (пол-окружности ларморовского радиуса – меньше длины свободного пробега до перезарядки), n_0 – плотность нейтрального газа, σ_n – сечение перезарядки, l – длина траектории. Исходя из этого, в электромагнитных сепараторах необходимые вакуумные условия были на уровне $1\text{-}2 \cdot 10^{-5}$ Торр. Учитывая то, что в процессе плазменной сепарации, т.е. возникновения ИЦР – неустойчивости, ускорение ионов может происходить за время одного ларморовского оборота, после чего частица выходит на стенку, требования к вакуумным условиям могут быть существенно снижены. Ионы ускоряются от 5 до ~ 100 эВ на пути около 20 см, что соответствует вакуумным условиям $\sim 3 \cdot 10^{-4}$ Торр. Т.е. при эквивалентном ионном токе в 1А требуются скорости откачки около $4 \cdot 10^3$ л/с.

Для промышленных условий длина траектории – $l \ll \lambda$. Ослабление пучка за счет процессов ионизации или перезарядки описывается как $I = I_0 \exp(-x/\lambda)$. Условие $l = \lambda$ не означает невозможности регистрации процесса. При $l = \lambda$ перезаряжается 67% ионов, а 33% могут попасть на коллектор и т.д. Таким образом, в лабораторных исследованиях вакуумные условия могут быть еще смягчены, а скорости откачки – снижены.

В то же время для получения вакуума $\sim 1\text{-}5 \cdot 10^{-5}$ Торр, откачка смеси газов Хе-Кг-Аг, N₂ или O₂ (воздух) и CO₂-Хе не представляет особых проблем. Эти смеси могут быть откачаны конденсационными крионасосами с температурой 28-30 К и крионасосами с температурой 65 К при использовании эффекта криозахвата. Величины упругостей пара Хе при температуре 65 К для смеси 2CO₂-1Хе будут лежать на уровне $1,5 \cdot 10^{-9}$ Торр и $1 \cdot 10^{-7}$ Торр для смеси 1CO₂-1Хе [15].

Результаты эксперимента. На рис. 8,а представлены величины E и H , при которых выполняются условия резонанса для 4-х газов с различной атомной массой.

На рис. 8,б,в,г представлены распределения токов на 4 электрода торцового коллектора в зависимости от величины ведущего магнитного поля для различных напряжений радиального электрического поля. Эксперименты проводились со смесью Xe-Kr-CO₂ (при E=150В), рис. 8,б, и индивидуальными газами Ar (E=100В), рис. 8,в, и CO₂ (E=100В), рис. 8,г.

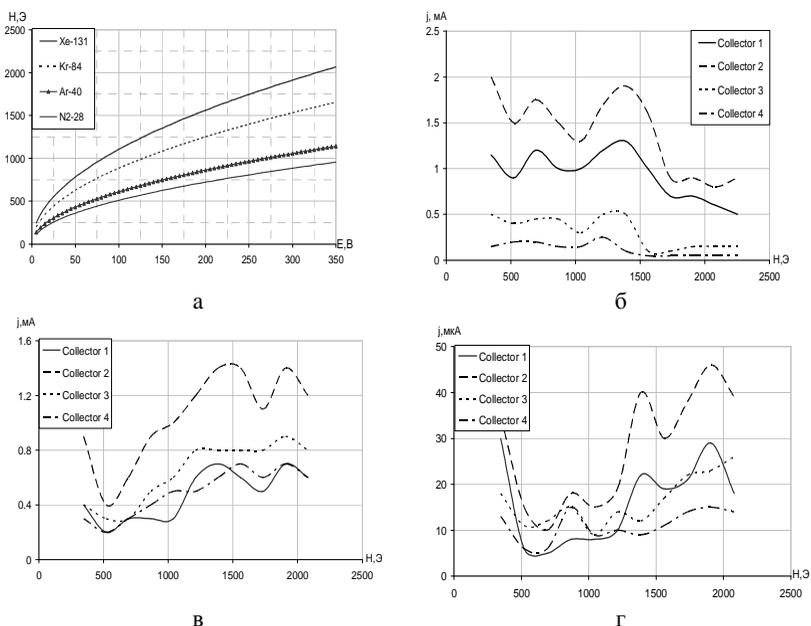


Рис. 8.

Наличие характерных минимумов на графиках можно интерпретировать, используя данные рис. 8,а. При этом на всех рисунках минимумы согласуются с ожидаемым положением ионов данной массы. Некоторое смещение минимумов на кривых может объясняться радиальной неоднородностью магнитного поля на разных радиусах, на которых располагаются коллекторы. Опираясь на данные рис. 8,б,в,г, можно сделать предварительную оценку производительности сепаратора и определить величину коэффициента α .

Результаты экспериментов свидетельствуют о возможности разделения элементов во вращающейся плазме при выполнении условия $\omega_E = \omega_{ci}/2$. Энергозатраты на разделение оказываются достаточно

близкими к намеченным 0,5-1,0 кэВ/ион. Этот результат указывает на необходимость продолжения экспериментов с целью отработки технологии плазменной сепарации, оптимизации параметров для выполнения основной цели – переработки ОЯТ.

Выводы. Создана экспериментальная электромагнитная плазменная установка, включающая: магнитную систему, вакуумную систему, плазменный источник, систему создания радиального электрического поля в плазме, систему диагностики плазмы. Установка предназначена для плазменного разделения элементов в имитационном эксперименте по разделению ОЯТ и может быть прообразом будущего опытно-промышленного плазменного сепаратора для переработки ОЯТ.

Результаты экспериментов свидетельствуют о возможности разделения элементов во вращающейся плазме. Ввиду малых магнитных полей и ускоряющих напряжений энергетические затраты оказываются достаточно близкими к намеченным, т.е. около 0.5кэВ/ион, величин экономически целесообразных для обработки ОЯТ электромагнитным методом. Этот результат указывает на необходимость дальнейшего продолжения экспериментов по отработке технологии разделения элементов, уточнения величин, оптимизации параметров.

Список источников информации: 1. Рожков А.М., Степанов К.Н., Супруненко В.А., Фареник В.И. // Физика плазмы и проблемы управляемого термоядерного синтеза. Вып. 1. – Киев: Наукова думка, 1971. – С. 14-18. 2. Рожков А.М., Степанов К.Н. и др. Резонансная циклотронная неустойчивость во вращающейся плазме // Физика плазмы и проблемы управляемого термоядерного синтеза. Вып. 3. – Киев: Наукова думка, 1972. – С. 193-202. 3. Рожков А.М., Степанов К.Н. и др. // Физика плазмы и проблемы управляемого термоядерного синтеза. Вып. 3. – Киев: Наукова думка, 1972. – С. 193-202. 4. Довбня А.Н., Егоров А.М., Швец О.М., Юферов В.Б., Невструев С.В. Концепционный проект плазменного резонансного сепаратора // ВАНТ. Сер. Плазменная электроника и новые методы ускорения (3). – 2003. – №4. – С.323-325. 5. Putvinsk S., Agnew A. F., Cluggish B.P., Ohkawa T. and other. Archimedes Mass Filter Vaporizer // American Physical Society, 43rd Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics. October, 29 – November, 2, 2001. Long Beach, California, Abstract #KP1.053. 6. Litvak A., Agnew S., Anderegg F., Cluggish B., Freeman R., Gilleland J., Isler R., Lee W., Miller R., Ohkawa T., Putvinski S., Sevier L., Umstadter K., Winslow D. Archimedes Plasma Mass Filter // 30th EPS Conference on Contr. Fusion and Plasma Phys. – St. Petersburg (Russia). 2003. – Vol. 27A, O-1.6A. 7. Юферов В.Б., Друй О.С., Ильичева В.О., Швец О.М., Винников Д.В., Ковтун Ю.В. Резонансный плазменный сепаратор для разделения изотопов. Выбор параметров // Вестник НТУ "ХПИ". Сер. Электроэнергетика и преобразова-

тельная техника. – 2004. – №35. – С.169-179. **8.** *Yuferov B., Shariy S.V., Serosh-tanov V.A.* Стационарный плазменный источник тяжелых ионов для имитационных исследований на сепараторе // ВАНТ. Problems of Atomic Science and Technology. Ser. Nuclear Physics Investigations (49). – 2008. – №3.– P. 82-85. **9.** *Yegorov A.M., Yuferov V.B., Shariy S.V., Serosh-tanov V.A., Druy O.S., Yegorenkov V.V., Ribas E.V., Khizhnyak S.N., Vinnikov D.V.* Preliminary study of the demo plasma separator // ВАНТ. Problems of Atomic Science and Technology. – 2009. – № 1(59). – P. 122-124. **10.** *Иоффе М.С., Соболев Р.И., Тельковский В.Г., Юшманов Е.Е.* Исследование удержания плазмы в ловушке с магнитными пробками. ЖЭТФ, 1960. – Т. 39. – Вып. 6(12). – С. 1602-1611. **11.** *Михайловский А.Б., Цыплин В.С.* Высокочастотная неустойчивость плазмы, находящейся в радиально-электрическом и продольном магнитном полях. Письма в редакцию ЖЭТФ. – Т. 3. – Вып. 6. – С. 247-249. **12.** *Арцимович Л.А., Лукьянов С.Ю.* Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях. – М.: Наука, 1972. – 80 с. **13.** *Сероштанов В.А., Шарый С.В., Юферов В.Б., Друй О.С., Егоренков В.В., Рыбас Е.В.* Двухступенчатый плазменный источник со сжатым вакуумно-дуговым разрядом сепаратора // Вестник ХНУ им. Каразина. Физическая сер. Ядра, частицы, поля. – 2008. – №794. Вып. 1/37. – С.111-114. **14.** *Юферов В.Б., Ковтун Ю.В., Винников Д.В., Сероштанов В.А., Шарый С.В.* Коаксиальный плазменный источник для сепаратора // ВАНТ. Сер. Плазменная электроника и новые методы ускорения. – 2006. – №5. **15.** *Юферов В.Б., Швец О.М., Друй О.С., Винников Д.В., Сероштанов В.А., Шарый С.В.* Высоко-частотный источник сепаратора элементов ДИС // "Вестник НТУ ХПИ". – 2006. – № 37. – С. 133-140. **16.** *Юферов В.Б., Шарый С.В., Сероштанов В.А., Друй О.С., Сероштанов В.А.* Криогенная система откачки плазменного сепаратора элементов ДИС // Харьковская нанотехнологическая ассамблея. Вакуумные нанотехнологии и оборудование. Харьков. – 2006. – Т. 1. – С. 58-61.



Егоров Алексей Михайлович, доктор физико-математических наук, зам. ген. директора ННЦ "ХФТИ", Yegorov@kipt.kharkov.ua. Защитил диплом радиоинженера конструирования и технологии производства радиоаппаратов на радиотехническом факультете НТУ "ХПИ", диссертацию кандидата и доктора физико-математических наук по специальности физика плазмы, соответственно в 1972, 1990 гг. Научные интересы: физика плазмы, плазменная электроника, плазменно-пучковый разряд.



Юферов Владимир Борисович, профессор, доктор технических наук, начальник отдела, ИПЭНМУ ННЦ "ХФТИ", yuferev@kipt.kharkov.ua. Защитил диплом инженера по специальности физика на физико-математическом факультете ХГУ, диссертацию кандидата и доктора физико-математических наук по специальности экспериментальная физика, соответственно в 1967, 1977 гг. Научные интересы: проблемы использования ядерных материалов и ядерных и радиационных технологий в сфере развития отраслей экономики, научные исследования в области атомной науки и техники.



Шарый Сергей Владимирович, младший научный сотрудник ИПЭНМУ ННЦ "ХФТИ". Защитил диплом инженера-физика по специальности защитные покрытия и материалы реакторостроения на физико-техническом факультете ХГУ в 1995г.

Научные интересы: физика плазмы, сепарация вещества на изотопы из плазменного состояния.



Друй Олег Самойлович, руководитель группы, ИПЭНМУ ННЦ "ХФТИ". Защитил диплом инженера по специальности физика на физико-математическом факультете ХГУ в 1964 г.

Научные интересы: физика плазмы, ускорительная техника, воздействие высокоэнергетичных пучков на поверхность твердых тел.



Ильичева Вера Олеговна, ведущий инженер-исследователь ИПЭНМУ ННЦ "ХФТИ", i-vera@yandex.ru Защитила диплом инженера-математика по специальности прикладная математика на факультете прикладной математики ХИРЭ в 1982г.

Научные интересы: математическое моделирование физических процессов, разработка магнитных систем.



Швец Михаил Олегович, инженер-исследователь ИПЭНМУ ННЦ "ХФТИ". Защитил диплом инженера-физика по специальности экспериментальная ядерная физика на физико-техническом факультете ХГУ в 1988г.

Научные интересы связаны с методами сепарации вещества по изотопам из плазменного состояния.



Ткачев Виталий Иванович, младший научный сотрудник ИПЭНМУ ННЦ "ХФТИ". Защитил диплом инженера-электрофизика по специальности техника и электрофизика высоких напряжений на физико-техническом факультете НТУ "ХПИ" в 2002 г.

Научные интересы: изучение процессов модификации металлических поверхностей различных конфигураций плазменным методом и сильноточными электронными пучками, исследование параметров долгоживущих плазменных сгустков образующихся в атмосфере и вакууме.



Ольховская Татьяна Ивановна, магистрант кафедры "Инженерная электрофизика" НТУ "ХПИ". Защитила диплом бакалавра электрофизики по специальности техника и электрофизика высоких напряжений на физико-техническом факультете НТУ "ХПИ" в 2008 г.



Свичкарь Александр Сергеевич, магистрант кафедры по специальности техника и электрофизика высоких напряжений на физико-техническом факультете НТУ "ХПИ" в 2008 г. "Инженерная электрофизика" НТУ "ХПИ". Защитил диплом бакалавра электрофизики.

Поступила в редколлегию 20.10.2009