

СВИНЦОВЫЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛЬ ДЛЯ БЫСТРОГО РЕАКТОРА-ВЫЖИГАТЕЛЯ С ЖЕСТКИМ СПЕКТРОМ НЕЙТРОНОВ

Г.Л. Хорасанов, А.П. Иванов, В.В. Коробейников,

А.И. Блохин, А.Л. Шимкевич

ГНЦ РФ-Физико-энергетический институт им. А.И.Лейпунского, г. Обнинск



Рассмотрена возможность повышения эффективности выжигания младших актинидов за счет их деления в быстром реакторе при использовании в качестве теплоносителя изотопа Pb-208. Приведены расчетные относительные значения скоростей реакций деления и захвата нейтронов ядрами Np-237, Am-241 и Am-243 в бланкете быстрого реактора БОР-60 для различных теплоносителей: натрия, свинца естественного состава и свинца со стопроцентным содержанием Pb-208. Для свинцового теплоносителя разного изотопного состава рассчитана наведенная за 1 год работы реактора радиоактивность и ее распад за время до 1000 лет.

Уничтожение долгоживущих радиоактивных отходов ядерной энергетики является одной из основных задач для развития энергетики будущего. Проблема обращения с младшими актинидами (МА) уже давно и систематически рассматривается специалистами различных стран. Этой проблеме посвящены многие доклады на различных международных конференциях, наиболее обширный материал представлен на конференциях GLOBAL-93, 95, 97. Стратегия реакторной трансмутации определилась в настоящее время достаточно четко. Нептуний предлагается включать в состав смеси урана и плутония и трансмутировать в активных зонах реакторов. Трансмутацию америция предлагается осуществлять в специальных мишенях, располагаемых, например, в боковых экранах (БЭ) реакторов на быстрых нейтронах (РБН) или подкритических реакторов с ускорителями. В быстрых системах в боковых экранах может быть использован замедляющий материал для создания мягкого спектра нейтронов, при этом поток нейтронов в нем может иметь значительно большее значение, чем в тепловых реакторах. Возможность создания заданного спектра нейтронов в экране быстрого реактора имеется, однако все дело в определении целесообразности того или иного спектра и величины нейтронного потока. В табл.1 приведены значения нейтронных сечений основных изотопов тяжелых нуклидов, участвующих в изотопных цепочках при трансмутации МА.

Рассматривая цепочки превращения изотопов в реакторе при облучении нептуния и америция и учитывая значения нейтронных сечений, приведенные в табл.1, можно сделать следующий вывод: скорость превращений нуклидов МА в тепловом спектре нейтронов значительно выше, чем в быстром, но при этом образование более высоких изотопов (высокорadioтоксичных изотопов плутония,

© Г.Л. Хорасанов, А.П. Иванов, В.В. Коробейников, А.И. Блохин, А.Л. Шимкевич, 1999

Таблица 1

Нейтронные сечения для традиционных тепловых и быстрых реакторов, барн

| Изотоп | Тепловые реакторы | | Быстрые реакторы | |
|--------|-------------------|---------|------------------|---------|
| | Захват | Деление | Захват | Деление |
| Np-237 | 114 | 11.4 | 0.7 | 0.16 |
| Pu-238 | 280 | 10.6 | 0.4 | 1.0 |
| Pu-239 | 145 | 389.0 | 0.4 | 1.5 |
| Am-241 | 375 | 2.3 | 1.0 | 0.13 |
| Am-243 | 130 | 0.1 | 0.6 | 0.07 |
| Cm-244 | 40.1 | 1.15 | 0.5 | 0.35 |
| Cm-245 | 189 | 1111 | 0.3 | 2.0 |

амерция, кюрия) в тепловом спектре заметно превышает их образование в быстром спектре. Размещение МА в экранах быстрых систем позволяет облучать их там произвольное время (ограничение времени облучения сборок с МА обусловлено только стойкостью стали под облучением), поэтому более жесткий спектр может быть для целей выжигания МА более приемлемым.

Одним из путей получения более жесткого спектра нейтронов в быстром реакторе может быть использование теплоносителя с более слабыми замедляющими свойствами. В качестве такого теплоносителя рассмотрен свинец, состоящий из изотопа Pb-208, в естественной смеси его содержание составляет 52.3%. Этот изотоп свинца обладает сечением неупругого рассеяния нейтронов в 3 - 3.5 раза меньшим, чем другие его изотопы. Эти данные взяты из библиотеки ядерных данных JENDL-3.2.[1] и приведены в табл.2.

Для сравнения зависимости скоростей ядерных преобразований МА от использования различных теплоносителей в реакторе на быстрых нейтронах, были проведены расчеты бокового экрана методом Монте Карло по программе ММКФК [2]. Расчетная

Таблица 2

Сечения неупругого рассеяния нейтронов, усредненные по спектру деления для различных изотопов свинца и свинца естественного состава, барн

| Нуклид | Pb-204 | Pb-206 | Pb-207 | Pb-208 | Pb-nat |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Сечение, σ_{in} | 1.325 | 1.316 | 1.265 | 0.361 | 0.804 |

Таблица 3

Концентрации ядер МА и теплоносителей в расчетных моделях бокового экрана быстрого реактора, ядер $10^{-24}/\text{см}^3$

| Нуклид | Вариант 1 (Np+Na) | Вариант 2 (Np+Pb-nat) | Вариант 3 (Np+Pb-208) | Вариант 4 (Am+Na) | Вариант 5 (Am+Pb-nat) | Вариант 6 (Am+Pb-208) |
|---------|----------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------|
| Np-237 | 0.00126 | 0.00126 | 0.00126 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Am-241 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.00114 | 0.00114 | 0.00114 |
| Am-243 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.00040 | 0.00040 | 0.00040 |
| O | 0.00252 | 0.00252 | 0.00252 | 0.00236 | 0.00236 | 0.00236 |
| Na | 0.01030 | 0.0 | 0.0 | 0.01030 | 0.0 | 0.0 |
| Pb-natl | 0.0 | 0.01430 | 0.0 | 0.0 | 0.01430 | 0.0 |
| Pb-208 | 0.0 | 0.0 | 0.01430 | 0.0 | 0.0 | 0.01430 |

Таблица 4

Ядерные концентрации конструкционных материалов в гомогенизированной модели бокового экрана, ядер $10^{-24}/\text{см}^3$

| Нуклид | Варианты 1-6 |
|--------|--------------|
| Fe | 0.014 |
| Cr | 0.00308 |
| Ni | 0.00168 |
| Mo | 0.000242 |
| Mn | 0.000164 |
| Zr | 0.00216 |
| C | 0.00216 |

Таблица 5

Расчетные величины отношения средних сечений деления, σ_{fis} , и захвата нейтронов, $\sigma_{\text{fis}} + \sigma_{\text{cap}}$, для Np и Am в боковом экране с разными теплоносителями, $\sigma_{\text{fis}} / (\sigma_{\text{fis}} + \sigma_{\text{cap}})$

| МА | БЭ с Na | БЭ с Pb-nat. | БЭ с Pb-208 |
|--------|---------|--------------|-------------|
| Np-237 | 0.2000 | 0.2100 | 0.2650 |
| Am-241 | 0.1770 | 0.1750 | 0.2150 |
| Am-243 | 0.2170 | 0.2260 | 0.2800 |

гомогенизированная модель бокового экрана толщиной 50 см содержала 6 различных вариантов, отличающихся друг от друга ядерными концентрациями делящегося вещества, Np и Am, и теплоносителя, Na, Pb-nat и Pb-208. В табл.3 приводятся концентрации МА и теплоносителя.

Состав конструкционных материалов для всех вариантов одинаковый. Значения ядерных концентраций конструкционных материалов в гомогенизированной модели бокового экрана приведены в табл.4. Полученные результаты приведены в табл.5, из которой видно, что быстрый реактор-выжигатель со свинцовым теплоносителем естественного состава практически не отличается от натриевого. Использование же в качестве теплоносителя изотопа свинца Pb-208 приводит к увеличению выжигательной способности реактора на 20 – 30% по сравнению с традиционным быстрым реактором. На этот факт следует обратить внимание при экономическом обосновании использования свинцового теплоносителя.

Теплоноситель на основе изотопа свинца Pb-208 может иметь также преимущество перед другими теплоносителями как менее активируемый материал. Для иллюстрации этого были проведены расчеты

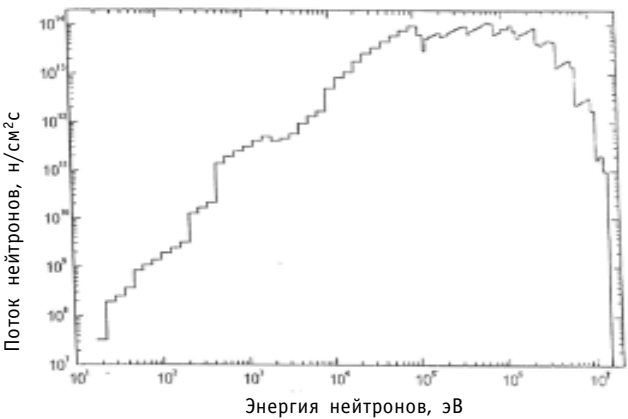


Рис.1. Спектр нейтронов в быстром реакторе BOR-60

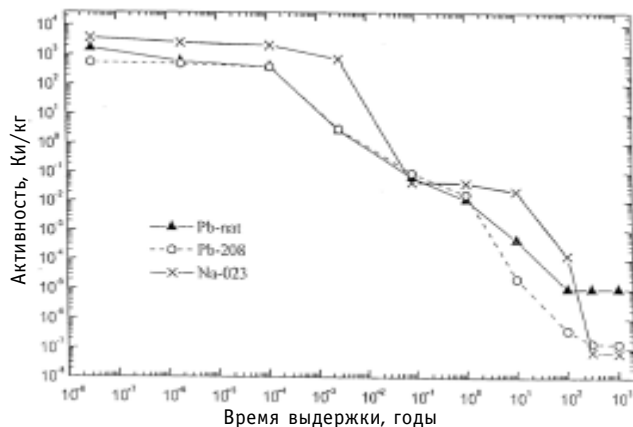


Рис.2. Спад активности свинца естественного состава, изотопа свинца Pb-208 и натрия после облучения в течение 1 года в спектре реактора BOR-60

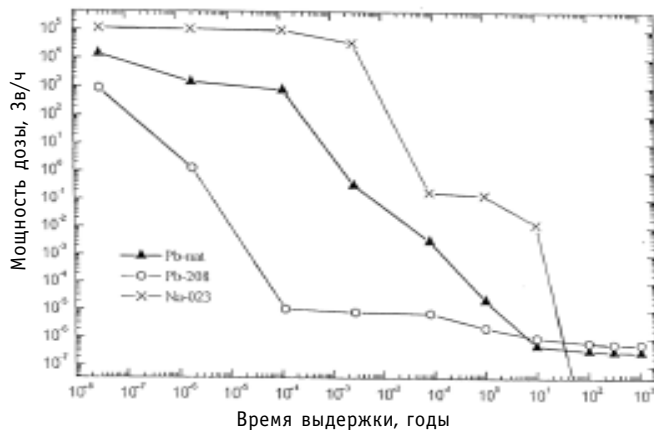


Рис.3. Мощность дозы свинца естественного состава, изотопа свинца Pb-208 и натрия после облучения в течение 1 года в спектре реактора BOR-60

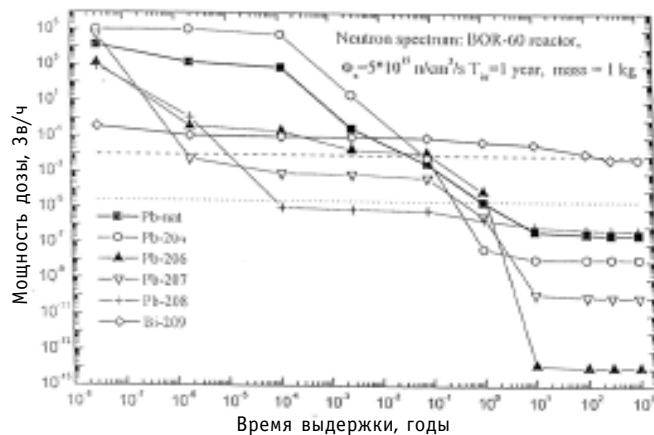


Рис.4. Мощность дозы свинца естественного состава, изотопов свинца Pb-204, 206, 207, 208 и Bi-209 после облучения в течение 1 года в спектре реактора BOR-60

наведенной активности различных материалов теплоносителя в спектре нейтронов деления быстрого реактора BOR-60 (рис.1). Расчеты выполнялись с использованием кода FISPACT-3 [3], библиотеки сечений активации FENDL-2/A и библиотеки распадных ядерных данных FENDL-2/D [4]. На рис.2 приведена активность природного свинца, изотопа свинца Pb-208 и натрия после их облучения в течение 1 года в потоке быстрых нейтронов $\Phi = 5 \cdot 10^{15}$ н/см²с. На рис.3 показана зависимость контактной мощности дозы 1 кг материала, облученного флюенсом $1.6 \cdot 10^{23}$ н/см² от времени выдержки величиной до 1000 лет. На рис.4 приведены аналогичные результаты для всех стабильных изотопов свинца и висмута Bi-209. Из этих зависимостей видно, что активность свинца Pb-208 после его облучения в реакторе спадает существенно быстрее свинца естественного состава и натрия, что очень важно для проблемы снятия реакторов с такими теплоносителями с эксплуатации, а также при различных аварийных ситуациях, связанных с потерей теплоносителя.

ВЫВОДЫ

- С целью повышения эффективности выжигания в РБН пороговых актинидов (Np-237, Pu-240, Pu-242, Am-243) рассмотре-

на возможность использования слабозамедляющего свинцового теплоносителя с высоким обогащением по изотопу Pb-208.

- Методом Монте Карло рассчитан боковой экран РБН, включающий в себя делящееся вещество, теплоноситель и конструкционные материалы. Показано, что для Np-237, Am-241 и Am-243 отношение $\sigma_{\text{fis}} / (\sigma_{\text{fis}} + \sigma_{\text{cap}})$ увеличивается на 20-30%, если в качестве теплоносителя использовать Pb-208 вместо Na или Pb-nat.

- С помощью кода FISPAST-3 показано, что изотоп свинца Pb-208, наряду со слабым замедлением, обладает и малой активируемостью в спектре нейтронов деления, что позволяет рассматривать его как перспективный материал для теплоносителя РБН.

Авторы выражают благодарность В.В. Синице за предоставленные нейтронные сечения изотопа свинца Pb-208.

Список литературы

1. JEF Report 14. Table of Simple Integral Cross Section Data from JEF-2.2, ENDF/B-VI, JENDL3.2, BROND-2 and CENDL-2, Paris, NEA, 1994.
2. Казакова Л.Б., Камаева О.Б., Коробейникова Л.В., Коробейников В.В., Полевой В.Б. Развитие функциональных возможностей комплекса программ ММКФК для моделирования переноса нейтронов и гамма-квантов. В сб.: Труды 7-го Всесоюзного совещания "Методы Монте Карло в вычислительной математике и математической физике". - Новосибирск, 1985.
3. Forrest R.A., Sublet J.Ch. FISPCT-3 User Manuel. Report AEA/FUS/227 (1993).
4. Pashchenko A.B. Summary Report on the IAEA Advisory Group Meeting on Completion of FENDL-1 and Start FENDL-2. Report IAEA/INDC (NDS)-352, 1996.

Поступила в редакцию 11.12.98.

УДК 519.688:621.039.58

Information Authenticity Control in Vibro-Diagnostics System of the Novovoronezh NPP \ A.O.Skomorokhov, M.T.Slepov; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 10 pages, 3 tables, 6 illustrations. - References, 8 titles.

The paper is devoted to the questions of automation of spectrum spoilage check procedure for the vibration monitoring system installed at 3 and 4 units of the Novovoronezh NPP. The indications are described which allow to divide the original set of spectra into the "normal" and "abnormal" classes. The selection of the most informative spectrum indications is demonstrated. The diagnostics of specified faultiness is made based on the criteria developed by the authors.

УДК 541.15+543.51

Main Objectives of the Ecological Estimation of Properties of Secondary Substances Formed after Contaminated Food Irradiation \ T.V. Melnikova, L.P. Polyakova, G.V. Kozmin; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 9 pages, 5 tables, 1 illustration. - References, 11 titles.

The problem of secondary contamination of irradiated food by organochlorinated pesticides (OCP) residues that degraded upon treatment with ionizing radiation is discussed in this article. The absence of systematic concept in the solution of the problem at the reviewed publications is demonstrated. On the base of performed OCP monitoring the concentration ranges of the OCP are determined at that types of food which can be exposed to radiation treatment. Irradiation of model objects is carried out and the estimation of OCP degradation is given. The methods investigating of new chemical compounds that are formed after the irradiation of OCP containing objects are proposed.

УДК 621.039.6

The Energetic Approach to Solve the Problem of Tokamak Plasma Control with Gas Puffing \ O.N. Alexandrova, N.V. Pashatsky; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 5 pages, 2 illustrations. - References, 12 titles.

The interaction processes between the molecular hydrogen being injected into tokamak's camera and plasma were studied at the current increase stage. Using energetic approach the criterion of optimum gas puffing was calculated.

УДК 621.039.526:621.039.534.6

Lead Coolant for Fast Reactor-Burner with Hard Neutron Spectrum \ G.L. Khorasanov, A.P. Ivanov, V.V. Korobeinikov, A.I. Blokhin, A.L. Shimkevich; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 5 pages, 5 tables, 4 illustrations. - References, 4 titles.

The possibility of increasing minor actinides (MA) burn out efficiency due to their fission in a fast reactor with lead isotope, Pb-208, as a coolant is considered. Calculation of MA fission and capture rate in a fast reactor blanket with different coolants: sodium, lead natural, and lead isotope, Pb-208, is given. It is shown that the use of Pb-208 in the fast reactor results in increase by 20-30 percent of MA incineration in comparison with a conventional fast reactor. The induced radioactivity of sodium, bismuth, lead, and its stable isotopes is analyzed.

УДК 539.17.013

Simulation of Periodic Structures in Distribution of Defects, Generated in NPP Structures Materials by the Stationary Source \ I.R.Bagdasarova, V.A.Galkin; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) - Obninsk, 1999. - 9 pages. - References, 14 titles.