

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ СЖИГАНИЯ КЮРИЕВОЙ ФРАКЦИИ МЛАДШИХ АКТИНИДОВ В НЕЙТРОННОМ ПОЛЕ

**А.Е. Синцов, В.А. Апсэ, А.Н. Шмелев**

*Московский инженерно-физический институт (государственный университет),  
г. Москва*



Рассматриваются некоторые нейтронно-физические особенности сжигания юриевой фракции младших актинидов (МА) в нейтронном поле ядерных реакторов. Показано, что систему, содержащую смесь изотопов юрия, можно сделать критической, и ее размножающие свойства будут значительно лучше, чем на урановом оксидном (UOX) топливе. Приводятся результаты численного моделирования сжигания юриевой оксидной ( $\text{Cm}_2\text{O}_3$ ) топлива в различных спектрах нейтронов. Используются две расчетные модели: ячейка ВВЭР и микротвэльная ячейка ВТГР. Показано, что за один цикл облучения можно достичь достаточно глубокого выгорания. Рассмотрены особенности обращения с топливом на основе смеси изотопов юрия ( $\text{Cm}_2\text{O}_3$ -топливо), связанные с интенсивным тепловыделением и накоплением гелия в результате  $\alpha$ -распадов.

### ВВЕДЕНИЕ

Известно, что развитие крупномасштабной ядерной энергетики приведет к увеличению накопления РАО, в том числе и МА (смесь изотопов нептуния, америция и юрия). В настоящее время активно изучаются различные способы сжигания МА в ядерных установках [1]. Предлагаются две основные стратегии: совместное сжигание плутония и МА или сжигание этих материалов по отдельности. Для реализации каждой из этих стратегий рассматриваются как ядерные, так и электроядерные установки с различным спектром нейтронов [1-4]. Между тем известно, что совместное облучение нептуния и америция с ядерным топливом, например, в легководном реакторе, повышает защищенность ядерных материалов от распространения [5]. Поэтому, если нептуний и америций можно будет утилизировать в энергетических легководных реакторах для защиты топлива от несанкционированного распространения, то специального обращения (сжигания) потребует только юриевая фракция МА.

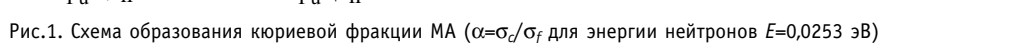
В данной работе анализируется возможность сжигания юриевой фракции МА в качестве основной компоненты ядерного топлива, а также проводится сравнение размножающих свойств  $\text{Cm}_2\text{O}_3$ -топлива и традиционного UOX-топлива.

### ХАРАКТЕРИСТИКИ КЮРИЕВОЙ ФРАКЦИИ МА

Известно, что при облучении UOX-топлива накопление юриевой фракции относительно невелико. Однако, если рассмотреть цепочку изотопных переходов, при-

---

© А.Е. Синцов, В.А. Апсэ, А.Н. Шмелев, 2004



### Некоторые характеристики кюриевой фракции МА

Таблица 2

**Нейтронно-физические свойства изотопов кюрия [10, 11]**

Изотоп	$\sigma_{th}$		R		$\sigma_{fast}$		$\nu$	$\beta$
	Деление	Захват	Деление	Захват	Деление	Захват		
$^{244}\text{Cm}$	1,03	14,4	12	633	0,995	1,0	3,24	0,13
$^{245}\text{Cm}$	2132	349	748	123	0,95	0,946	3,53	0,18
$^{246}\text{Cm}$	0,06	1,3	4,3	103,5	1,005	1,005	3,2	0,29
$^{235}\text{U}$	583	99	272	132	0,98	0,98	2,43	0,65
$^{238}\text{U}$	1,1-5	2,72	0,002	278	1,001	1,002	2,7	1,78

Здесь  $\sigma_{fast}$  – сечение, усредненное по спектру деления; R – резонансный интеграл при бесконечном разбавлении;  $\sigma_{th}$  – сечение при  $E=0,0253$  эВ;  $\nu$  – число вторичных нейтронов;  $\beta$  – выход запаздывающих нейтронов на 100 делений

в основном, из трех изотопов –  $^{244}\text{Cm}$ ,  $^{245}\text{Cm}$  и  $^{246}\text{Cm}$ , причем на долю  $^{244}\text{Cm}$  будет приходиться более 90%.

Учитывая, что  $^{244}\text{Cm}$  характеризуется высоким удельным тепловыделением, обращение с этой фракцией представляется нелегкой задачей. Интенсивный  $\alpha$ -распад изотопов кюрия влечет за собой три эффекта: высокое тепловыделение, накопление гелия, который занимает значительно больший объем, чем кюриум, и накопление изотопов плутония. Поэтому при долговременном хранении кюриевой фракции МА необходимо будет решать еще и вопрос об утилизации накапливающегося плутония.

Для выбора условий сжигания кюрия в ядерной установке проанализируем нейтронно-физические свойства изотопов  $^{244}\text{Cm}$ ,  $^{245}\text{Cm}$  и  $^{246}\text{Cm}$  (табл. 2). По нейтронно-физическим свойствам изотопы  $^{244}\text{Cm}$  и  $^{246}\text{Cm}$  можно отнести к воспроизводящим изотопам (как, например,  $^{238}\text{U}$ ), а  $^{245}\text{Cm}$  – к делящимся, причем его размножающие свойства значительно лучше, чем у делящихся изотопов урана и плутония.

Нейтронно-физические свойства изотопов  $^{244}\text{Cm}$  и  $^{245}\text{Cm}$  выгодно отличаются от свойств изотопов  $^{238}\text{U}$  и  $^{235}\text{U}$ . Например, зависимости сечения захвата от энергии нейтронов для  $^{238}\text{U}$  и  $^{244}\text{Cm}$  имеют похожий характер (рис. 2а) за исключением тепловой области, где сечение захвата  $^{244}\text{Cm}$  значительно больше, чем у  $^{238}\text{U}$ . Напротив, зависимости сечения деления  $^{235}\text{U}$  и  $^{245}\text{Cm}$  сильно различаются (рис. 2б) как в тепловой, так и в резонансной областях. В тепловой области сечение деления  $^{245}\text{Cm}$  значительно больше, чем у  $^{235}\text{U}$ . Также различаются зависимости отношения сечений захвата и деления ( $\alpha=\sigma_c/\sigma_f$ ) для  $^{235}\text{U}$  и  $^{245}\text{Cm}$  от энергии (рис. 2в). Доля паразитного захвата нейтронов на  $^{245}\text{Cm}$  меньше, чем на  $^{235}\text{U}$ . Таким образом, смесь изотопов кюрия нетрудно сделать критической [9], однако недостатком такой смеси будет низкий выход запаздывающих нейтронов (табл. 2).

Из приведенных данных можно сделать вывод о том, что для реализации хранения или выжигания кюрия необходимо использовать технологию, которая позволила бы сильно разбавить материал для надежного теплоотвода и обеспечивала бы удержание значительных количеств гелия и газообразных продуктов деления (ПД). Также заметим, что в случае сжигания кюрия в нейтронном поле необходимо будет стремиться к возможно быстрому снижению содержания  $^{244}\text{Cm}$ , что позволило бы снизить накопление гелия за счет канала  $\alpha$ -распада.

Для выжигания кюрия может быть использована микровзрывная технология, разработанная для высокотемпературных газо-охлаждаемых реакторов (ВТГР) [12]. Твэл представляет собой графитовую матрицу, в которой распределены топливные мик-

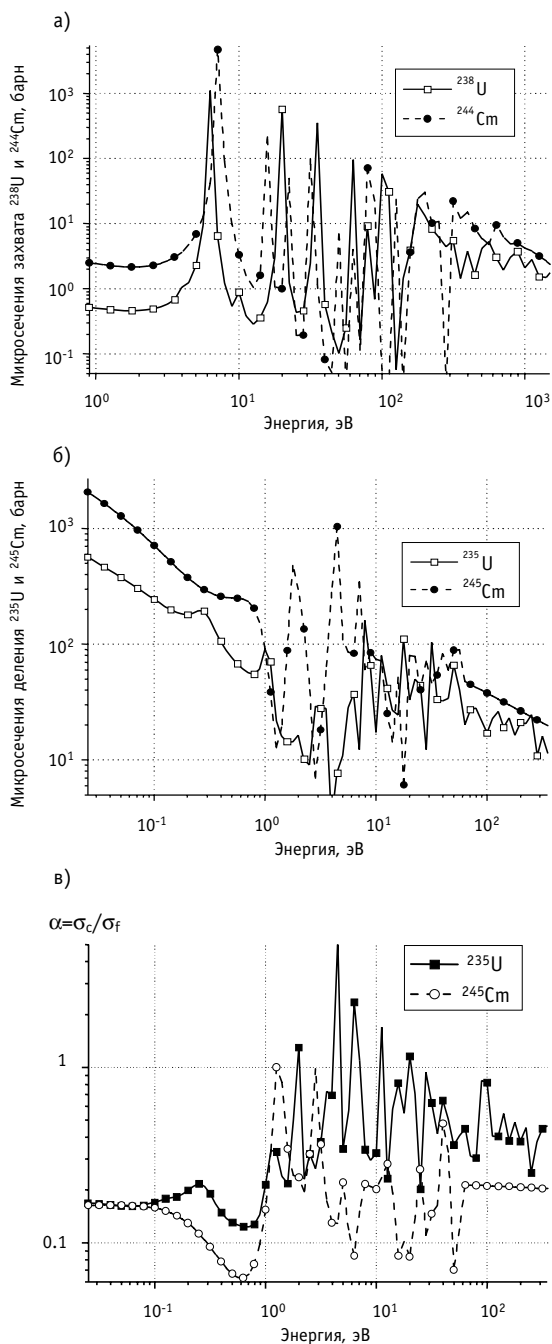


Рис.2. Энергетическая зависимость сечений захвата для  $^{238}\text{U}$  и  $^{244}\text{Cm}$ , сечений деления и отношения  $\sigma_c/\sigma_f$  для  $^{235}\text{U}$  и  $^{245}\text{Cm}$  [10]

лиотеки оцененных ядерных данных ENDF/B-V.

Зависимости коэффициента размножения нейтронов в бесконечной среде  $K_\infty$  от водо-уранового отношения  $V_{\text{вода}}/V_{\text{топлива}}$  представлены на рис. 3. Во всем рассмотренном диапазоне водо-уранового отношения размножающие свойства  $\text{Cm}_2\text{O}_3$ -топлива значительно лучше, чем у традиционного  $\text{UO}_2$ -топлива. Это связано с тем, что  $\nu_{\text{эфф}}(^{245}\text{Cm})$  значительно больше, чем  $\nu_{\text{эфф}}(^{235}\text{U})$ . Также видно, что характер измене-

рочастицы (микровзлы), причем на один тяжелый атом приходится 250-600 атомов углерода. Микровзлы состоят из топливных микросфер, покрытых защитными слоями из пироуглерода и карбида кремния.

Подобные твэлы были разработаны для реактора ВГ-400 [13]. Размер топливной микросферы 500 мкм, суммарная толщина защитных слоев 250 мкм. Конструкция твэлов учитывала основные эксплуатационные факторы: давление газообразных ПД, неодинаковые размерные изменения слоев покрытий при облучении и т.д. В результате радиационных испытаний таких шаровых твэлов были достигнуты: выгорание – до 40% т.а., длительность облучения – 33000 ч при температуре 800-1100°C [13].

### СРАВНЕНИЕ РАЗМНОЖАЮЩИХ СВОЙСТВ $\text{Cm}_2\text{O}_3$ -ТОПЛИВА И $\text{UO}_2$ -ТОПЛИВА

Размножающие свойства  $\text{Cm}_2\text{O}_3$ -и  $\text{UO}_2$ -топлива сравнивались на примере ячейки ВВЭР, т.е. на трехзонной модели: топливо двух видов ( $\text{Cm}_2\text{O}_3$  или  $\text{UO}_2$ ), циркониевая оболочка и легководный теплоноситель. Радиус топливного сердечника 0,38 см, толщина оболочки 0,075 см, толщина зоны теплоносителя варьировалась для изменения спектра нейтронов. Обогащение топлива 4,4%. Под обогащением  $\text{Cm}_2\text{O}_3$ -топлива понимается содержание изотопа  $^{245}\text{Cm}$  в кюри. Поскольку содержание  $^{246}\text{Cm}$  в  $\text{Cm}_2\text{O}_3$ -топливе невелико, то рассматривались только два изотопа:  $^{244}\text{Cm}$  и  $^{245}\text{Cm}$ . Расчеты проводились по программному комплексу SCALE-4.3 [7] с использованием библи-

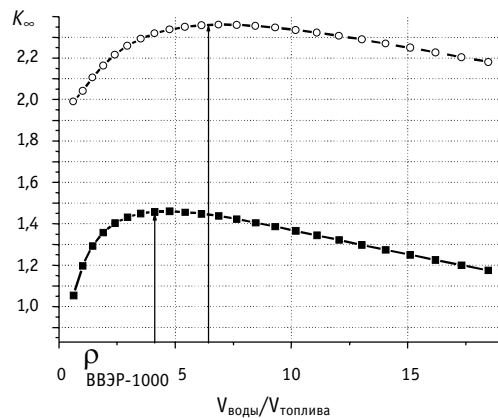


Рис.3. Зависимость  $K_{\infty}$  водо-уранового отношения для ячейки ВВЭР: —■— UOX-топливо; —○—  $\text{Cm}_2\text{O}_3$ -топливо

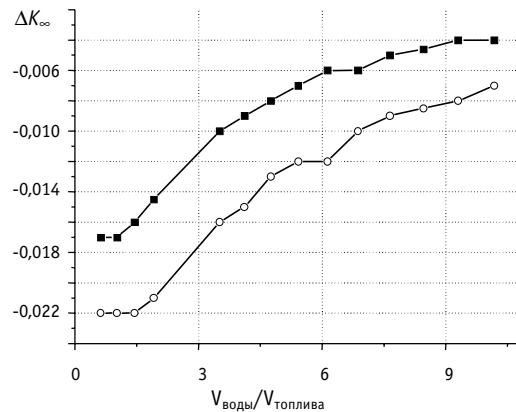


Рис.4. Зависимость  $\Delta K_{\infty}$  от водо-уранового отношения для ячейки ВВЭР: —■— UOX-топливо; —○—  $\text{Cm}_2\text{O}_3$ -топливо

ния зависимостей  $K_{\infty}$  от водо-уранового отношения имеет некоторые отличия. Например, максимальные значения  $K_{\infty}$  достигаются при различных водо-урановых отношениях. Видимо, это можно объяснить зависимостью от энергии сечений захвата изотопов кюрия и урана (рис. 2).

Известно, что эффект Доплера является основным физическим механизмом для обеспечения внутренней безопасности реактора. Оценивалось влияние температуры топлива на реактивность ячейки с  $\text{Cm}_2\text{O}_3$ - и UOX-топливом. Зависимости реактивности от водо-уранового отношения при увеличении температуры топлива на  $500^{\circ}\text{C}$  представлены на рис.4. Заметим, что здесь рассматривался суммарный эффект Доплера на сырьевом и делящемся изотопах. Видно, что повышение температуры низкообогащенного  $\text{Cm}_2\text{O}_3$ -топлива приводит к уменьшению реактивности, так же, как для низкообогащенного UOX-топлива. Причем для  $\text{Cm}_2\text{O}_3$ -топлива Доплер-эффект сильнее, чем для UOX-топлива во всем диапазоне водо-уранового отношения. Это объясняется тем, что в резонансной области сечения захвата на  $^{244}\text{Cm}$  больше, чем у  $^{238}\text{U}$ .

### ЗАВИСИМОСТЬ $K_{\infty}$ ОТ ВЫГОРАНИЯ $\text{Cm}_2\text{O}_3$ - И UOX-ТОПЛИВА В ЯЧЕЙКЕ ВВЭР

Для моделирования выгорания топлива использовалась рассмотренная выше модель ячейки ВВЭР с радиусом 0,66 см, что соответствует  $V_{\text{вода}}/V_{\text{топлива}}=1,89$ . Изменение спектра нейтронов в ячейке достигалось переходом с легкой воды на тяжелую. Удельная энергонапряженность принималась равной 110 кВт/л.

Зависимости  $K_{\infty}$  от выгорания топлива представлены на рис. 5а. Видно, что зависимости 1 и 2 (замедлитель- $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Cm}_2\text{O}_3$ - и UOX-топливо) так же, как и зависимости 3 и 4 (теплоноситель  $\text{D}_2\text{O}$ ,  $\text{Cm}_2\text{O}_3$ - и UOX-топливо) от выгорания имеют сходный характер, хотя размножающие свойства ячеек существенно отличаются. Зависимости содержания «делящейся» фракции от выгорания приводятся на рис. 5б. Под «делящейся» фракцией понимается: для  $\text{Cm}_2\text{O}_3$ -топлива –  $^{245}\text{Cm}$  и  $^{241}\text{Pu}$ , для UOX-топлива –  $^{235}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  и  $^{241}\text{Pu}$ . В ячейке с  $\text{Cm}_2\text{O}_3$ -топливом и  $\text{D}_2\text{O}$ -замедлителем воспроизводство «делящейся» фракции больше, чем для варианта с  $\text{H}_2\text{O}$ -замедлителем.

Из полученных результатов можно сделать вывод о том, что в рассмотренном диапазоне выгораний размножающие свойства  $\text{Cm}_2\text{O}_3$ -топлива остаются существенно лучше, чем свойства UOX-топлива. Однако рассмотренная ячейка ВВЭР малоэффективна для сжигания кюрия (из-за низкой удельной энергонапряженности топлива кюрий выгорает медленно, и значительное количество  $^{244}\text{Cm}$  успевает распасться).

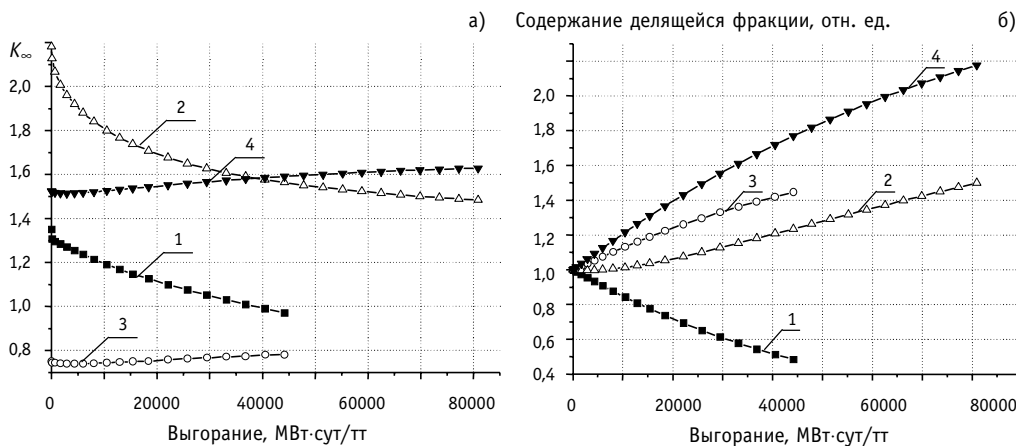


Рис.5. Зависимости  $K_{\infty}$  и содержания «делящейся» фракции от выгорания для ячейки ВВЭР (содержание «делящейся» фракции определяется как отношение суммы концентраций делящихся изотопов при выгорании к сумме первоначально загруженных делящихся изотопов): 1 - т-н  $\text{H}_2\text{O}$ , UOX-топливо; 2 - т-н  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Cm}_2\text{O}_3$ -топливо; 3 - т-н  $\text{D}_2\text{O}$ , UOX-топливо; 4 - т-н  $\text{D}_2\text{O}$ ,  $\text{Cm}_2\text{O}_3$ -топливо

Например, выгорание 80 ГВт-сут/т достигается за 6-7 лет. Это означает, что пятая часть  $^{244}\text{Cm}$  распадется, и к газообразным ПД добавится значительное количество гелия, увеличивающее распухание топлива.

### ЗАВИСИМОСТЬ $K_{\infty}$ ОТ ВЫГОРАНИЯ $\text{Cm}_2\text{O}_3$ - И UOX-ТОПЛИВА В МИКРОТВЭЛЬНОЙ ЯЧЕЙКЕ

В расчетной модели микровтвэльная ячейка имеет цилиндрическую геометрию, диаметр топливной зоны 340 мкм (предполагается, что средняя хорда цилиндрического блока равна средней хорде сферического). Размер графитовой зоны подбирается так, чтобы отношение атомов углерода к тяжелым атомам топлива составляло 600. Плотность графита принималась равной 1,8 г/см<sup>3</sup> (плотность матричного графита [12]), т.е. не учитывалось, что покрытие микровтвэла многослойно и кроме графита содержит карбид кремния. Толщина зоны гелиевого теплоносителя 50 мкм. Удельная энергонапряженность 10 МВт/м<sup>3</sup> (в проектируемых ВТГР она находится на уровне 6-8 МВт/м<sup>3</sup> [14]).

Зависимости  $K_{\infty}$  от выгорания представлены на рис. 6а. Видно, что  $K_{\infty}$  ячейки с  $\text{Cm}_2\text{O}_3$ -топливом, как и в предыдущем рассмотрении, значительно выше  $K_{\infty}$  ячейки с UOX-топливом. Характер зависимостей  $K_{\infty}$  от выгорания для рассматриваемых топливных материалов значительно отличается. Такое различие связано с различием в воспроизводстве делящихся изотопов. При облучении  $\text{Cm}_2\text{O}_3$ -топлива глубина выгорания за один цикл составляет около 30% т.а., причем за время облучения около 10% первоначально загруженного  $^{244}\text{Cm}$  успевает распасться. По мере выгорания содержание делящейся фракции в топливе быстро уменьшается, хотя, по-прежнему, в ячейке с  $\text{Cm}_2\text{O}_3$ -топливом делящихся изотопов воспроизводится значительно больше, чем в ячейке с UOX-топливом (см. рис. 6б).

Известно, что при увеличении энергонапряженности топлива для обеспечения надежного теплоотвода целесообразно использовать жидкометаллические теплоносители. Рассмотрим, как изменятся размножающие свойства микровтвэльной ячейки с  $\text{Cm}_2\text{O}_3$ -топливом, если теплоносителем будет жидкий свинец. Использование свинца в качестве теплоносителя приводит к увеличению паразитного поглощения в ячейке. Значение  $K_{\infty}$  становится заметно меньше, чем для гелиевого теплоносителя (см. рис. 6а). Глубина выгорания топлива уменьшается до 25% т.а. (за время облучения успевает распасться около 7%  $^{244}\text{Cm}$ ).

Таблица 3

**Выходы ПД при делении  $^{235}\text{U}$  и  $^{245}\text{Cm}$  [10], ядро/деление**

Нуклид	I	Xe	Cs	Kr
$^{235}\text{U}$	0.01	0.36	0.195	0.057
$^{245}\text{Cm}$	0.015	0.33	0.17	0.015

**НАКОПЛЕНИЕ  
ГАЗООБРАЗНЫХ  
ПРОДУКТОВ: ГЕЛИЯ И ПД**

В табл. 3 приводятся значения выходов газообразных и некоторых летучих элементов при делении  $^{235}\text{U}$  и  $^{245}\text{Cm}$ . Видно, что при делении  $^{245}\text{Cm}$  вероятность выхода криптона значительно меньше, чем при делении  $^{235}\text{U}$ , а остальные ПД имеют сопоставимые выходы. Рассмотрим накопление газообразных ПД и гелия при облучении  $\text{Cm}_2\text{O}_3$ -топлива при той же удельной энергонапряженности ( $10 \text{ МВт/м}^3$ ). Зависимости накопления ксенона, криптона и гелия от выгорания топлива представлены на рис. 7. Видно, что скорость накопления гелия сопоставима со скоростью накопления ксенона, поэтому при облучении  $\text{Cm}_2\text{O}_3$ -топлива накопление газообразных продуктов будет существенно больше, чем при облучении  $\text{UOX}$ -топлива (рис. 8). Видно, что при выгорании 9.5% т.а. накопление газообразных продуктов различается почти в два раза.

Уменьшая время облучения, можно, конечно, снизить накопление гелия (т.к. гелий образуется в результате распада  $^{244}\text{Cm}$ ). Однако этого же можно добиться и за счет повышения энергонапряженности топлива. Зависимости накопления гелия для разных уровней энергонапряженности представлены на рис. 9. Видно, что трехкратное увеличение энергонапряженности приводит к уменьшению накопления гелия в 2,5 раза.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Из проведенных расчетных исследований выжигания кюриевой фракции МА в нейтронном поле можно сделать следующие выводы.

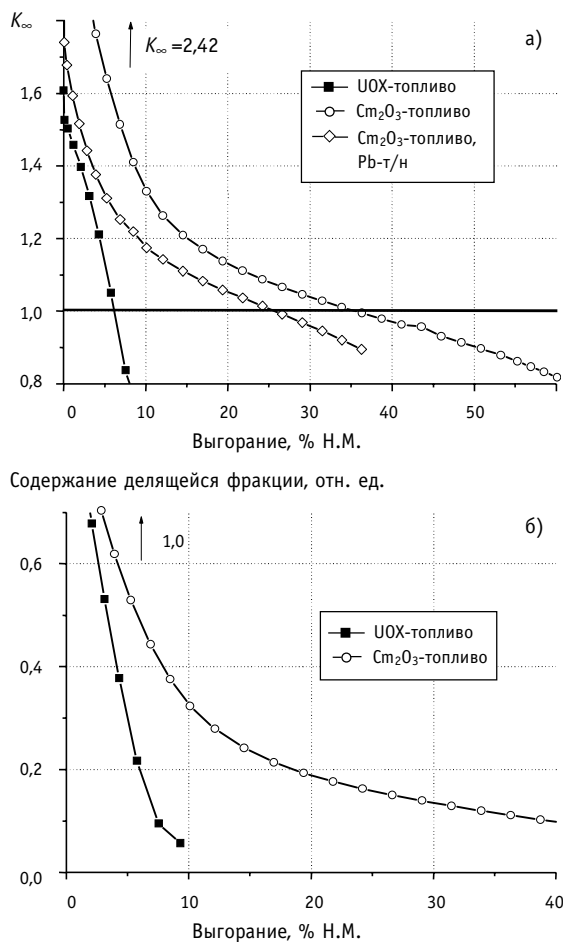


Рис. 6. Зависимости  $K_{inf}$  и содержания «делящейся» фракции от выгорания для микровзвальной ячейки (содержание «делящейся» фракции определяется как отношение суммы концентраций делящихся изотопов при выгорании к сумме первоначально загруженных делящихся изотопов)

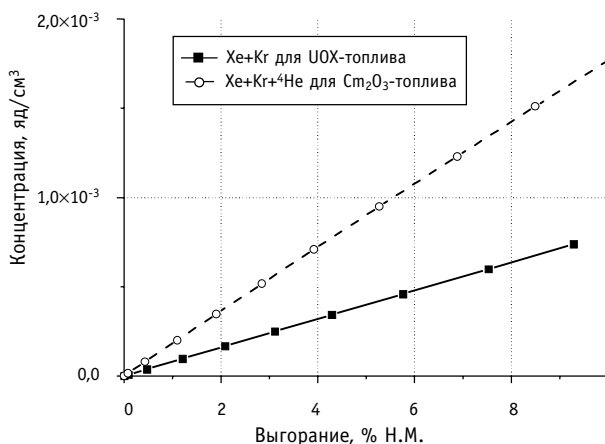


Рис.7. Накопление газовых ПД и гелия при выгорании топлива

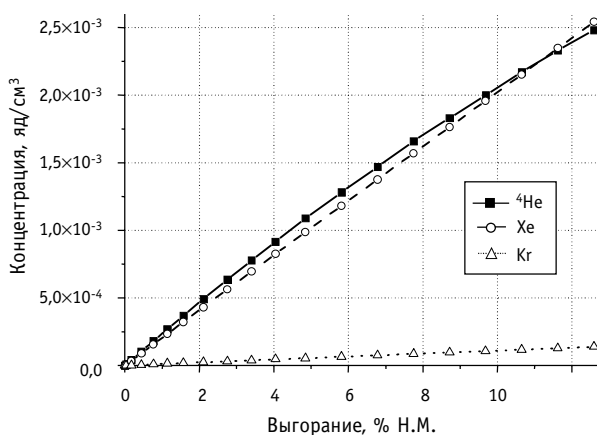


Рис.8. Накопление газовых продуктов при облучении смеси изотопов кюрия

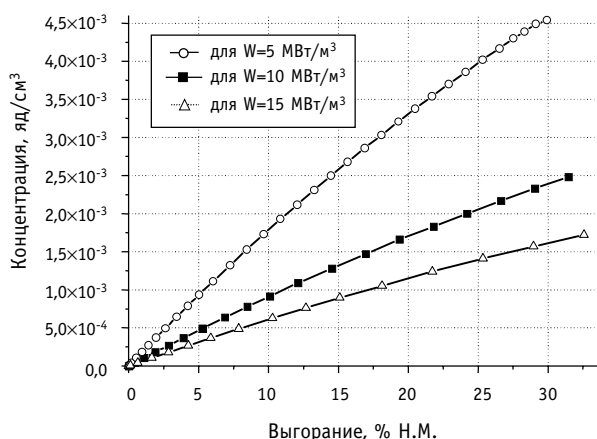


Рис.9. Зависимость накопления гелия от выгорания при различных энергонапряженностях топлива

1. Нейтронно-физические свойства изотопов кюрия выгодно отличаются от свойств традиционных сырьевых и делящихся изотопов. Размножающие свойства делящегося изотопа  $^{245}\text{Cm}$  значительно лучше свойств  $^{235}\text{U}$  и  $^{239}\text{Pu}$ , что дает возможность использовать кюрий как самостоятельное ядерное топливо. Одним из недостатков использования  $\text{Cm}_2\text{O}_3$ -топлива является низкий выход запаздывающих нейтронов.

2. Теплофизические свойства кюрия таковы, что для его выжигания целесообразно использовать технологию, обеспечивающую надежный теплоотвод и удержание значительных количеств гелия и ПД. Предлагается воспользоваться микровзвальной технологией, разработанной для ВТГР.

3. Облучение  $\text{Cm}_2\text{O}_3$ -топлива будет заметно отличаться от облучения UOX-топлива, поскольку в результате  $\alpha$ -распада  $^{244}\text{Cm}$  будет накапливаться значительное количество гелия, что приведет к увеличению накопления газовых элементов. При этом повышение интенсивности сжигания кюрия способно существенно снизить темп накопления гелия.

4. Размножающие свойства  $\text{Cm}_2\text{O}_3$ -топлива значительно лучше, чем свойства традиционного UOX-топлива. Поэтому за один цикл облучения возможно выжечь до 30% первоначально загруженного топлива. Однако при этом около 10% первоначально загруженного  $^{244}\text{Cm}$  успевает распастись.



### Литература

1. *Salvatores M.* Transmutation: Issues and Perspectives After a Decade of Revival//Progress in Nuclear Energy. – V. 40. – № 3-4. – P. 375-402.
2. *Iwasaki T.* A Study on Transmutation of Minor-Actinides in a Thermal Neutron Field of the Advanced Neutron Source//Progress in Nuclear Energy. – V. 40. – № 3-4. – P. 481-488.
3. Бергельсон Б.Р., Герасимов А.С. и др. Сценарии трансмутации долгоживущих радионуклидов//Атомная энергия. – 2002. – Т. 93. – Вып. 4. – С. 271-278.
4. *De Saint Jean C., Tommasi J. et al.* Americium and Curium Heterogeneous Transmutation in Moderated S/A in the Framework of CNE Scenarios Studies/Proc. of the International Conf. on Evaluation of Emerging Nuclear Fuel Cycle Systems, «GLOBAL 2001», Paris, France, September 9-13, 2001.
5. Ансэ В.А., Синцов А.Е., Шмелев А.Н. и др. Радиоактивные отходы: пути обезвреживания//Инженерная физика. – 2001. – № 3. – С. 32-41.
6. Физические величины. Справочник/Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
7. SCALE: A Modular Code System for Performing Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation. NUREG/CR-0200, ORNL/NUREG/CSD-2/R5, Oak Ridge, January 1997.
8. *Benedict M., Pigford T.H., Levi H.W.* Nuclear Chemical Engineering. Second Edition. – McGraw Hill, 1981. – P. 369-370.
9. Синцов А.Е. О возможности получения глубокого выгорания кюриевого топлива в подкритических установках/Материалы XII семинара «Физические проблемы эффективного и безопасного использования ядерных материалов» (Москва, 2-6 сентября 2002 г.)ю – С. 30-32.
10. JEF-PC – A personal computer program for displaying nuclear data from the Joint Evaluated File library. User manual, version 2.0. – NEA/OECD, 1997.
11. *Shibata K. et al.* Curves and Tables of Neutron Cross-Sections in JENDL-3.2, JAERI-Data/Code, 97-003, Part II, 1997.
12. Черников А.С., Пермяков Л.Н. и др. Твэлы на основе сферических топливных частиц с защитным покрытием для реакторов повышенной безопасности//Атомная энергия. – 1999. – Т. 87. – Вып. 6. – С. 451-462.
13. Черников А.С. Топливо и твэлы ВТГР//Атомная энергия. – 1988. – Т. 65. – Вып. 1. – С. 32-38.
14. Справочник по ядерной энерготехнологии/Пер. с англ./Под ред. В.А. Легасова. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – С. 415.

Поступила в редакцию 27.06.2003

**УДК 621.039.54**

*Mathematical Equipment for Flow Rate Identification in the Fuel Channels of RBMK-Reactor Based on Nitrogen Activity Data* \ A.M. Zagrebayev, N.V. Ovsyannikova, A.Y. Artemiev, N.I. Mironov; Editorial board of journal "Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2004. – 8 pages, 6 illustrations. – References, 7 titles.

A mathematical model of the coolant activation by fast neutrons in the fuel channels of RBMK reactor and possibilities of its application to flow rate identification during operating at nominal and low power levels as well as to interpreting active and passive experiments on flow rate identification are described. A flow rate restoring algorithm is considered based on experimental data on nitrogen activity of the coolant provided by fuel elements covers intactness control system (SKGO), reactor status files and the mathematical model of coolant activation. The results of coolant flow rate restoring using experimental data from Kurskaya and Ignalinskaya Atomic Power Stations with the help of proposed mathematical equipment are given.

**УДК 621.039.52**

*Peculiarities of Realization of the Abnormal Events in Large Power BN-type Reactors with Non-traditional Form of Core* \ V.S. Okunev; Editorial board of journal "Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2004. – 10 pages, 4 illustrations, 2 tables. – References, 9 titles.

The non-traditional form (ring or band) of the LMFR's core can be provided the optimal values of the void reactivity effect, density reactivity factor and Doppler-effect. The analysis of anticipated transients without scram in the MOX-fuelled and MN-fuelled BN-1600-type LMFRs with ring-shaped core are presented.

**УДК 539.1.07+621.039.516**

*The Analysis of Possibilities to Use Single-Type Hardware and Methodology for Real Time Monitoring of Nuclear Fuel and Nuclear Materials Condition* \ O.V. Maslov, M.V. Maximov, S.G. Oleynik; Editorial board of journal "Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2004. – 11 pages, 6 illustrations, 1 table. – References, 26 titles.

There is proved a need for real time monitoring of nuclear fuel and nuclear materials condition. The fundamental principle of the nuclear fuel monitoring system is measuring spectra of a spent fuel assembly g-irradiation. Based on over 200 measurements, a procedure for real time monitoring of burnout in spent fuel assemblies in the course of handling was proposed. Also, this article demonstrates a possibility to monitor by applying a measuring system based on CdZnTe-detectors to fresh nuclear fuel. The provision of priority systems with digital spectrometers improves the measurement quality. The use of CdZnTe-detectors allows to monitor the spent nuclear fuel burnout and enrich fresh nuclear fuel in real time during handling operations.

**УДК 621.039.73**

*Some Features of Burn-up of Curium Fraction from Minor Actinides in Neutron Field* \ A.E. Sintsov, V.A. Apse, A.N. Shmelev; Editorial board of journal "Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2004. – 9 pages, 9 illustrations, 2 tables. – References, 14 titles.

Some neutronic features of curium minor actinides fraction burn-up in neutron field of nuclear reactors are analysed. It is demonstrated that fuel composition containing a mixture of curium isotopes can become critical with neutron multiplying properties substantially better than those of traditional uranium dioxide UOX-fuel. The results obtained in numerical analyses of curium oxide  $\text{Cm}_2\text{O}_3$ -fuel burn-up in different neutron spectra are presented. Two mathematical models are applied: cell of VVER-type reactor and cell of micro particle fuel of HTGR-type reactor. It is demonstrated that rather high fuel burn-up can be achieved for one irradiation cycle. There are considered the specific features of curium-based fuel management related with intense heat generation and helium accumulation in  $\alpha$ -decays.