

Ж 53
А99

АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ
АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ СССР

**Атомная
Энергия**

Ежемесячный журнал
ГОД ИЗДАНИЯ ТРИНАДЦАТЫЙ

АТОМИЗДАТ ■ МОСКВА ■ 1968

Том 24 ■ Апрель ■ Вып. 4

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

А. И. АЛИХАНОВ, А. А. БОЧВАР, А. П. ВИНОГРАДОВ, Н. А. ВЛАСОВ (зам. главного редактора), И. Н. ГОЛОВИН, Н. А. ДОЛЛЕЖАЛЬ, А. П. ЗЕФИРОВ, В. Ф. КАЛИНИН, Н. А. КОЛОКОЛЬЦОВ (зам. главного редактора), А. К. КРАСИН, А. И. ЛЕЙПУНСКИЙ, В. В. МАТВЕЕВ, М. Г. МЕЩЕРЯКОВ, М. Д. МИЛЛИОНЩИКОВ (главный редактор), П. Н. ПАЛЕЙ, Д. Л. СИМОНЕНКО, В. И. СМИРНОВ, В. С. ФУРСОВ, В. Б. ШЕВЧЕНКО

СОДЕРЖАНИЕ

СТАТЬИ

- А. К. Красин, И. И. Саламатов, В. Б. Нестеренко, А. Н. Девойно. Развитие исследований в Институте ядерной энергетики АН БССР 307
- С. Т. Конобеевский, Б. М. Левитский, Л. Д. Пантелеев. К вопросу о механизме радиационного роста урана при малых дозах облучения 312
- В. И. Векслер, В. П. Саранцев, А. Г. Бонч-Осмоловский, Г. В. Долбильов, Г. А. Иванов, И. Н. Иванов, М. Л. Иовнович, И. В. Кожухов, А. Б. Кузнецов, В. Г. Маханьков, Э. А. Перельштейн, В. П. Рашевский, К. А. Решетникова, Н. Б. Рубин, С. Б. Рубин, П. И. Рыльцев, О. И. Ярковой. Коллективное линейное ускорение ионов 317
- В. П. Дзюленов, В. П. Дмитриевский, Б. И. Замолотчиков, В. В. Кольга. Кольцевой циклотрон с жесткой фокусировкой для многозарядных ионов 323
- В. В. Арсенин, В. А. Чуянов. О возможности подавления дрейфовой неустойчивости неоднородной плазмы с помощью системы обратных связей . . 327
- В. М. Бондаренко, Г. Г. Викторов, А. Г. Тархов. Об использовании космического излучения для оценки эффективности биологических защит 330
- С. Н. Барков. Многогрупповой аналитический метод расчета гетерогенного ядерного реактора 335
- П. Т. Потапенко. Предельная оценка качества внутри-реакторного контроля нейтронного потока 340
- Д. М. Каминер, К. А. Коноплев, Ю. П. Семенов, В. Д. Тренин. Поведение продуктов радиолиза при работе реактора ВВР-М без системы дегазации 343
- В. А. Жарков, В. П. Терентьев, Г. М. Фрадкин. Получение топлива изотопных электрогенераторов методами нейтронного облучения 348
- Ю. В. Рябов, Со Дон Сик, Н. Чиков, Н. Янева. Измерение отношения сечений радиационного захвата и деления для U^{235} и Pu^{239} в резонансной области энергий нейтронов 351

- В. А. Афанасьев, Б. В. Кебадзе, Г. А. Сапковский, В. И. Грицков, И. Н. Соколов, Л. А. Адамовский, С. А. Маркин. Экспериментальное исследование устойчивости корпусного кипящего реактора ВК-50 363

АННОТАЦИИ ДЕПОНИРОВАННЫХ СТАТЕЙ

- Д. П. Осанов, В. П. Панова, Г. Б. Радзиевский. Измерение дозовых факторов накопления для точечных изотропных источников γ -излучения низкой энергии в воде 368
- В. А. Жарков, Т. П. Зорина, Г. М. Фрадкин. Самоэкранирование тепловых нейтронов в конечных цилиндрах и телах других геометрий 369
- И. Н. Бриккер, В. П. Астафьев, А. Р. Мирзоян. Обращенное решение тепловых уравнений двухкомпонентного ядерного реактора 370
- С. Ф. Дегтярев, А. П. Суворов, В. В. Тарасов, В. К. Тихонов, С. Г. Цыпин. Пространственные, угловые и энергетические распределения быстрых нейтронов в гидриде лития, воде, вольфраме и карбиде бора 370
- С. Ф. Дегтярев, В. Б. Староверов, В. В. Тарасов, В. К. Тихонов, С. Г. Цыпин. Экспоненциальные угловые коэффициенты нейтронов для неводородсодержащих сред 372
- В. К. Даруга, С. Ф. Дегтярев, В. И. Кухтевич, А. Н. Николаев, В. П. Подиванский, Б. И. Синицын, А. П. Суворов, В. В. Тарасов, В. К. Тихонов, С. Г. Цыпин. Пространственно-энергетические и угловые распределения нейтронов в литии 372
- С. М. Рубанов, В. И. Титов, Л. С. Шкорбатова. Расчет защиты контура с циркулирующим горючим . . 373
- В. Д. Горяченко. Акустическая неустойчивость ядерного реактора 374
- В. Д. Горяченко, Е. Ф. Сабаев. Акустические колебания в реакторе с циркулирующим газообразным горючим 375
- В. Д. Горяченко, В. А. Денисов, Ю. Ф. Трунин. Влияние изменения плотности делящегося вещества на устойчивость реактора с циркулирующим горючим 376
- В. С. Шулепин. Применение асимптотического P_N -приближения для расчета ячейки 376

235607

225304/м



РГ

Радиационная стойкость твэлов реактора «Арбус»

Ю. В. ЧУШКИН, Е. Ф. ДАВИДОВ, В. Н. СЮЗЕВ, В. В. КОЛЕСОВ

УДК 621.039.548

Твэлы реактора «Арбус» представляют собой трехслойные шестигранные и цилиндрические трубы, состоящие из среднего топливного слоя и двух плакирующих оболочек. Материалом топливного слоя служит уран-алюминиевый сплав, содержащий 35 вес. % урана. В качестве материала оболочки используется алюминиевый сплав. Твэлы охлаждаются газойлем, имеющим среднюю температуру 250° С. Максимальный тепловой поток с поверхности твэлов составляет $8 \cdot 10^4$ ккал/м²·ч, максимальная температура их оболочки равна 350° С. При эксплуатации твэлов достигнуто выгорание урана до 3,7%. После облучения твэлы исследовались в горячей материаловедческой лаборатории.

Было исследовано шесть сборок твэлов из кассет, расположенных по радиусу активной зоны реактора. При визуальном осмотре заметных дефектов у твэлов и сборок обнаружено не было. Во всех случаях отмечено лишь образование тонкой (толщиной до 20—30 мк) прочной пленки светло-желтого цвета, имеющей достаточно хорошее сцепление с оболочкой.

С целью определения величины возможного распухания твэлов методом гидростатического взвешивания измерили плотность образцов, вырезанных из средних частей необлученного твэла и двух облученных твэлов с выгоранием 1,7 и 3,7% соответственно. Средняя плотность необлученных образцов составила $2,91 \pm 0,02$ г/см³. Средняя измеренная плотность облученных образцов свидетельствует о неизменности объема твэлов, так как величина распухания во всяком случае меньше погрешности измерений.

Состояния структуры тепловыделяющей композиции оценивали по образцам, аналогичным охарактеризованным выше. Приготовление шлифов проводили по следующей методике:

заливка образцов в специальную обойму сплавом Вуда;
шлифовка образцов на бумагах КЗ-4, КЗ-3, КЗМ-40, КЗМ-28 и КЗМ-20 в течение 3—5 мин на каждом номере бумаги;



Рис. 1. Микроструктура образцов из необлученного твэла ($\times 200$).

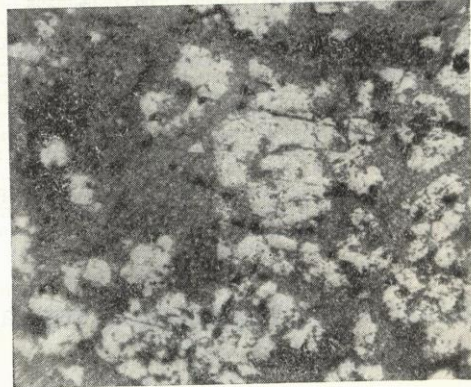


Рис. 2. Микроструктура образцов из твэла с выгоранием 3,7% ($\times 200$).

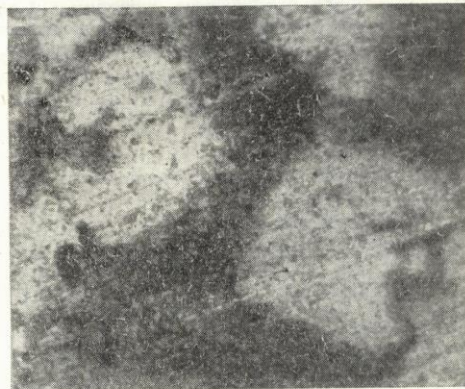


Рис. 3. Микроструктура образцов из твэла с выгоранием 3,7% после отжига при 550° С ($\times 1000$).

полировка на бильярдном сукне с эмульсией окиси магния в воде в течение 4—5 мин до выведения рисок на шлифе.

Просмотр шлифов проводили при помощи дистанционного металлографического микроскопа с увеличением в 200 и 1000 раз.

Структура образцов из необлученного твэла была представлена светлыми зернами горючего неправильной формы, равномерно распределенными по всему сечению шлифа. Переходного слоя между матрицей и оболочкой нет (рис. 1), т. е. при изготовлении была достигнута их полная диффузионная свариваемость. Величина микротвердости материалов матрицы и оболочки равна соответственно 75 и 61 кг/мм².

Каких-либо изменений структуры образцов после облучения до выгорания 3,7% не замечено (рис. 2). Не изменилась и величина микротвердости материалов матрицы (78 кг/мм²) и оболочки (61 кг/мм²).

Констатация фактов высокой размерной и структурной стабильности твэлов, облучавшихся при ~350°С, для характеристики их живучести недостаточна. С целью определения предельной температуры, ниже которой твэлы, как правило, сохраняют свою стабильность, был проведен отжиг серии образцов с выгоранием 3,7% при различных температурах в течение 2 ч. Измеренная плотность отожженных образцов, определявшаяся с точностью ±0,02 г/см³, при температурах 350, 400, 450°С составляла 2,91 г/см³, а при 550°С 2,85 г/см³.

Неизменность величины плотности при нагреве образцов до 450°С свидетельствует о том, что ниже этой температуры каких-либо изменений в них не про-

исходит. Полученные данные указывают также на возможность протекания процесса коагуляции осколочных газов, вызывающих распухание образцов при 550°С.

Аналогичным образом была изучена структура образца, отожженного при 550°С (рис. 3). Видно образование многочисленных газовых каверн. Общее увеличение объема твэла за счет процесса коагуляции составило ~2,5%.

Изложенные выше результаты позволяют сделать однозначный вывод о высокой радиационной стойкости описанных твэлов при эксплуатации в условиях реактора «Арбус». С большой надежностью можно также заключить, что величина выгорания, равная 3,7%, составляет лишь незначительную долю предельно допустимого выгорания.

Поступило в Редакцию 15/VI 1967 г.

Вычисление параметров термализации нейтронов в газе

Ш. КЕНЖЕБАЕВ

УДК 621.039.51.12

В предыдущей работе [1] предлагалось исследовать термализацию нейтронов с помощью модели ядра рассеяния $W_s(v, v')$ в виде суперпозиции ядер рассеяния в газе с различными массовыми числами атомов. При этом удобно использовать разложение функции распределения нейтронов по системе полиномов от скоростей $L_i(v)$ [2], удовлетворяющих условию

$$\int_0^\infty M(v) L_i(v) L_k(v) dv = \delta_{ik}, \quad M(v) = \frac{4}{\sqrt{\pi}} v^2 e^{-v^2}. \quad (1)$$

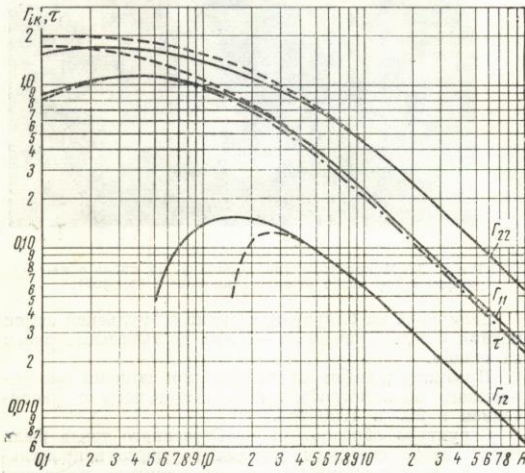


Рис. 1. Зависимости параметров Γ_{ik} (—); $\Gamma_{ik}^{(as)}$ (---) и τ (-.-.-), рассчитанных в трехгрупповом приближении, от массового числа A .

В этом случае удается получить довольно простые аналитические выражения для параметров

$$\gamma_{ik} = \gamma_{ki} = \int_0^\infty dv M(v) L_i(v) \int_0^\infty dv' W_s(v, v') \times [L_k(v) - L_k(v')], \quad (2)$$

$$(\gamma_{i0} = \gamma_{0i} = 0),$$

определяющих обмен энергией между нейтронами и замедлителем [1]. Для газа с массовым числом A , находящегося при температуре T , величины

$$\Gamma_{ik} \equiv \gamma_{ik} / \Sigma_{sf} \sqrt{\frac{2kT}{m}} \quad (3)$$

(Σ_{sf} — макроскопическое сечение рассеяния нейтронов на свободных покоящихся атомах, m — масса нейтрона, k — постоянная Больцмана) имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} \Gamma_{11} &= \frac{16\sqrt{\pi}}{3(3\pi-8)} \cdot \frac{A^2}{A+1} \left(1 - \frac{2A-1}{2A^{3/2}} \sqrt{A+1}\right); \\ \Gamma_{12} &= \frac{2}{\sqrt{9\pi-28}} \left[\frac{1}{\sqrt{\pi A(A+1)}} \times \right. \\ &\times \left. \left(1 + \frac{2A}{A+1} + \frac{3A-1}{\sqrt{A}} \operatorname{arctg} \sqrt{A}\right) - \Gamma_{11} \right]; \\ \Gamma_{22} &= \frac{4}{9\pi-28} \times \\ &\times \left[\frac{4(3\pi-8)}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{\sqrt{A}}{(A+1)^{3/2}} - \sqrt{9\pi-28} \Gamma_{12} - \Gamma_{11} \right]. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Зависимость этих параметров от A представлена на рис. 1, причем для удобства использования их в суперпозиционной модели [1] приведены также результаты для значения $A < 1$. На этом же рисунке приведены