

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. Конобецкий, 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. Дзелепов, 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

235607

- 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**

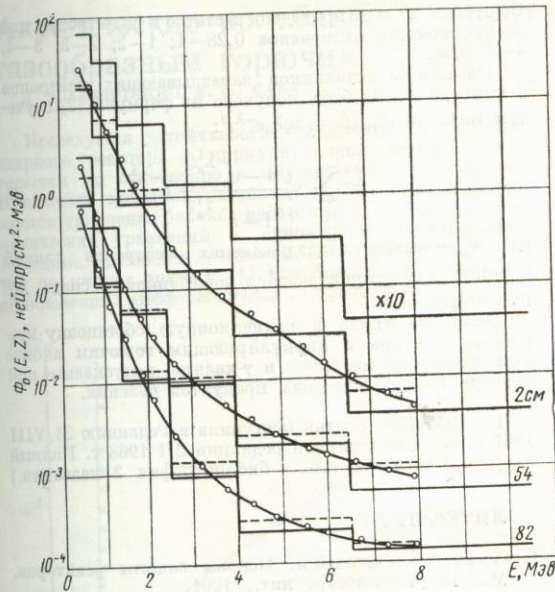
- Д. П. Осанов, В. П. Панова, Г. Б. Радзиевский. Измерение дозовых факторов накопления для точечных изотропных источников  $\gamma$ -излучения низкой энергии в воде 368
- В. А. Жарков, Т. П. Зорина, Г. М. Фрадкин. Самоэкранирование тепловых нейтронов в конечных цилиндрах и телах других геометрий . . . . . 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

225304/м



РГ



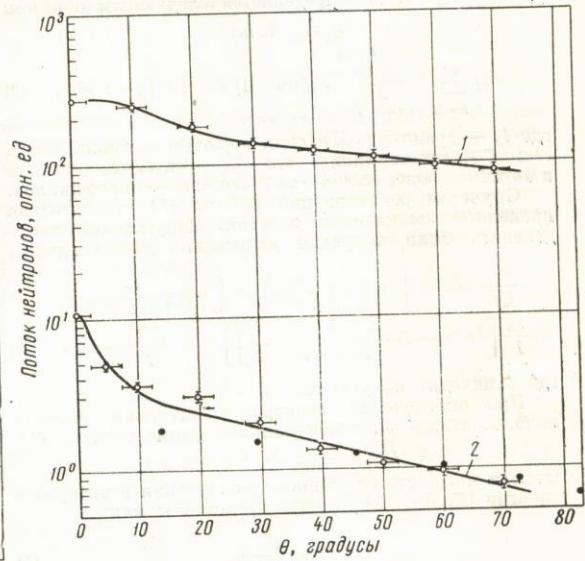


Р и с. 1. Энергетические распределения быстрых нейтронов в литии:

○ — эксперимент; — — — расчет (РОЗ); — — — — экспериментальные данные, усредненные по расчетным энергетическим интервалам (данные нормированы при толщине  $Z = 2$  см и энергетическом интервале  $\Delta E = 2,5 \div 4$  Мэв).

При измерениях пространственно-энергетических распределений все детекторы находились в каналах; при изучении угловых распределений быстрых нейтронов счетчик ZnS(Ag) помещался в специальный коллиматор, который мог перемещаться под различными углами  $\theta$  по отношению к внешней нормали к баку с литием.

В статье приведены экспериментальные и расчетные (по программе РОЗ) данные по энергетическим распре-



Р и с. 2. Угловые распределения потока нейтронов за барьером из лития толщиной 60 см:

○ — эксперимент (1 — полный поток; 2 — поток с энергией  $E > 1$  Мэв); ● — расчет (РОЗ). Эксперимент и расчет связаны при  $\theta = 45^\circ$ .

делениям потоков быстрых нейтронов (рис. 1), пространственным распределениям потоков нейтронов различных энергетических групп для различных толщин лития и данные по угловым распределениям потока нейтронов с энергией  $E > 1$  Мэв и полного потока (рис. 2). Показано, что расчетные и экспериментальные результаты удовлетворительно согласуются.

(№ 193/4358. Поступила в Редакцию 19/VI 1967 г. В окончательной редакции 28/XII 1967 г. Полный текст 0,5 а. л., 10 рис., 2 табл., библиография 11 названий.)

## Расчет защиты контура с циркулирующим горючим

С. М. РУБАНОВ, В. И. ТИТОВ, Л. С. ШКОРБАТОВА

УДК 539.103:621.039.58

Получены формулы для расчета удельной мощности источников запаздывающих нейтронов и  $\gamma$ -излучения, сопровождающего распад продуктов деления из контура с циркулирующим горючим. Предполагалось, что изменение полной испускаемой энергии со временем после момента деления при распаде короткоживущих и долгоживущих продуктов  $E(t)$  (Мэв/деление  $\times$  сек) для времен, больших 1,2 сек, описывается зависимостями, приведенными в работе Гольдштейна [1]. Ввиду того что вклад  $\gamma$ -излучения, испускаемого в интервале 0 — 1,2 сек, не превышает ошибки в определении величины полного выхода запаздывающего  $\gamma$ -излучения, для этого интервала была принята зависимость,

справедливая в интервале 1,2—10<sup>3</sup> сек. В этом случае

$$\int_0^{10^3} \frac{0,62}{1+t} dt + \int_{10^3}^{\infty} 1,5t^{-1,2} dt \approx 5,5 \text{ Мэв/деление.} \quad (1)$$

Величина удельной интенсивности источников излучения продуктов деления через  $t$  сек после выхода из



зоны  $q_\gamma(t_a, \tau, m)$  определяется следующим образом:

$$q_\gamma(t_a, \tau, m) = \xi_f \sum_{k=1}^m \int_{(k-1)T}^{(k-1)T+t_a} E_i[(m-1)T + \tau + t_a - t'] dt', \quad (2)$$

где  $t_a$  — время прохождения горючим активной зоны, сек;  $T$  — время цикла, сек;  $\xi_f$  — интеграл делений в активной зоне, деление  $\cdot$  см<sup>-3</sup>  $\cdot$  сек<sup>-1</sup>;  $m$  — число циклов.

С учетом рекомендаций работы [1] относительно временной зависимости энергии, испускаемой после деления, были получены выражения для величины

$$\frac{q_\gamma}{\xi_f} = 0,62 \left\{ \ln \left( 1 + \frac{t_a}{1+\tau} \right) \ln \left( 1 + \frac{t_a}{1+\tau+T} \right) + \frac{t_a}{T} \left[ \ln(m-i) + \frac{1}{2(m-i)} - \frac{1}{2} \right] \right\} + 1,5 \frac{t_a}{T^{1,2}} m^{-0,2}, \quad (3)$$

где  $i$  находят из условия  $(m-i)T < 10^3$ .

При определении спектра  $\gamma$ -излучения деления использовалась экспоненциальная форма спектра [1]:

$$N(E) dE = 6e^{-1,1 E} dE M \text{эв}^{-1}.$$

Отсюда мощность источников  $\gamma$ -излучения в интервале энергии  $(E, E + \Delta E)$  можно представить как

$$q_{\gamma \Delta E} = \frac{\alpha^E}{E} q_\gamma. \quad (4)$$

Величины  $\alpha^E$  и  $\bar{E}$  приведены в статье в виде таблиц для энергетических интервалов 0,28—1; 1—2; 2—3; 3—4; 4—5 Мэв.

Плотность источников запаздывающих нейтронов в контуре может быть получена из формулы (2) с учетом того, что  $E_n(t) = v_s \lambda_s e^{-\lambda_s t}$ :

$$q_n = \xi_f \sum_i v_s^i \frac{1 - e^{-\lambda_s^i t_a}}{1 - e^{-\lambda_s^i T}} e^{-\lambda_s^i \tau}, \quad (5)$$

где  $v_s^i$  — выход запаздывающих нейтронов данной группы, характеризующейся постоянной распада  $\lambda_s^i$ , на акт деления.

Основной вклад в радиационную обстановку при работе реактора с циркулирующим горючим вносят запаздывающие нейтроны и  $\gamma$ -кванты, испускаемые при распаде короткоживущих продуктов деления.

(№ 195/4498. Статья поступила в Редакцию 21/VIII 1967 г. В окончательной редакции 2/I 1968 г. Полный текст 0,3 а. л., 1 табл., библиография 2 названия.)

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Гольдштейн. Основы защиты реакторов. М., Изд-во иностр. лит., 1961.

## Акустическая неустойчивость ядерного реактора

В. Д. ГОРЯЧЕНКО

Основная цель статьи — качественное исследование условий возбуждения акустических колебаний в реакторе с газообразным горючим. Возможность акустических колебаний обусловлена сжимаемостью горючего и зависимостью тепловыделения от плотности делящегося вещества.

Анализ устойчивости проводился на двух различных математических моделях. В первой модели (с сосредоточенными параметрами) использована идея акустического резонатора [1], вторая (с распределенными параметрами) дает приближенное описание одномерных колебаний газа. Основные предположения таковы: реактивность зависит только от плотности горючего; потери давления пропорциональны скорости газа; концентрация запаздывающих нейтронов и тепловая мощность реактора не изменяются. Последнее предположение правомерно именно при исследовании устойчивости по отношению к высокочастотным акустическим колебаниям, период которых много меньше характерного времени передачи тепла от газообразного горючего в охлаждающую среду и значительно меньше времени жизни запаздывающих нейтронов.

Конкретный анализ устойчивости по обеим моделям осуществлялся с помощью метода  $D$ -разбиения [2] плоскости двух действительных параметров, один из которых характеризует плотностный коэффициент реактивности, а другой — трение в системе. Было выяснено, что обе модели в равной мере пригодны для анализа акустической неустойчивости. Показано, что основное влияние на акустическую неустойчивость оказывают три параметра реактора: плотностный коэффициент реактивности, стационарная тепловая мощность аппарата и трение в системе (коэффициент сопротивления).

Увеличение первых двух уменьшает запас устойчивости и может привести к возникновению акустических колебаний. Увеличение третьего параметра способствует устойчивости реактора.

Кроме того, установлено, что в реакторе с газообразным горючим возможны акустические колебания при неизменяющейся мощности, если трение достаточно слабо, а стационарная мощность достаточно велика. Было показано также, что реактор может работать устойчиво даже при отрицательном (но достаточно малом по величине) плотностном коэффициенте реактивности. Оба последних факта обусловлены непосредственной зависимостью энерговыделения от плотности горючего. Эта зависимость не принималась во внимание Велтоном [3] при анализе акустической неустойчивости. Результаты работы [3], как показано в данной статье, неприменимы к реакторам на газообразном топливе.

(№ 197/4537. Статья поступила в Редакцию 26/IX 1967 г., аннотация — 15/I 1968 г. Полный текст 0,6 а. л., 4 рис., библиография 6 названий.)

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рэлей. Теория звука. Т. 2. М., Гостехтеориздат, 1955.
2. Ю. И. Неймарк. Устойчивость линеаризованных систем. Ленинград, Изд. Ленинградской военной инженерной академии, 1949.
3. Т. А. Велтон. В сб. «Теория ядерных реакторов». Под ред. Г. Биркхофа и Э. Вигнера. М., Госатомиздат 1963.