

УДК 621.039.517:621.039.512.45

## Расчет энергораспределения в топливной кассете реактора альбедным методом

ОРЕХОВ Ю. И., ГЛИНСКАЯ В. В.

Расчет энергораспределения по твэлам в поперечном сечении кассеты является одной из задач при разработке реактора. Размещение внутри кассеты стержней с выгорающим поглотителем, органов регулирования и других неоднородностей усложнило решение задачи и потребовало использования различных методов расчета, позволяющих учесть эти факторы и реальную конструкцию кассеты.

В связи с этим заслуживает внимания альбедный метод [1,2], который может быть использован без предварительной гомогенизации микроячеек и не накладывает ограничений на сложность структуры кассеты. Применение альбедного метода к расчету шестигранной кассеты рассмотрено в работе [3]. Сравнение с методом Монте-Карло показало достаточно хорошую точность альбедного метода. При этом, однако, альбедные характеристики микроячеек (с твэлом, с регулятором и чисто водяная), на которые расчленяется кассета при использовании альбедного метода, получены в работе [3] методом Монте-Карло, требующим, как известно, больших затрат машинного времени.

Представлялось интересным оценить погрешность альбедного метода расчета энергораспределения по твэлам кассеты при определении альбедных характеристик микроячеек приближенными, но менее трудоемкими методами, в первую очередь, при использовании диффузионного приближения. С этой целью были проведены расчеты кассет с определением альбедных характеристик микроячеек тремя способами.

1. Двухзонная микроячейка (твэл + вода или регулятор + вода) рассчитывалась в диффузионном приближении.

2. Двухзонная микроячейка предварительно гомогенизировалась с учетом распределения потока нейтронов, полученного в  $P_3$ -приближении метода сферических гармоник. Затем для однозонной ячейки с усредненными константами определялись альбедные характеристики микроячейки в диффузионном приближении.

3. То же, что в способе 2, но предварительная гомогенизация микроячейки проводилась на основе расчета распределения потока в  $S_8$ -приближении.

Во всех случаях шестигранные микроячейки заменяли эквивалентными цилиндрическими; распределение падающих извне на сторону микроячейки нейтронов принималось равномерным. При расчете двухзонных микроячеек в  $P_3$ - и  $S_8$ -приближениях на внешней границе микроячейки предполагалось условие отражения нейтронов. Альбедные характеристики периферийных водяных микроячеек, имеющих вид «деформированных» шестигранников, определяли в диффузионном приближении численным методом. Все расчеты, как и в работе [3], выполнены в одnogрупповом приближении. Параметры твэлов, регулятора и воды приняты такими же.

Некоторые результаты расчетов приведены в таблице, где приняты следующие обозначения:  $\Sigma_a$  — сечение поглощения в твэле;  $k$  — коэффициент неравномерности энергораспределения в кассете;  $n_B$  — число рядов водяных ячеек на периферии кассеты;  $n_P$  — число регуляторов в кассете;  $\delta k/k$  — относительная погрешность расчета  $k$ ;  $(|\delta N|/N)_{\text{макс}}$  — максимальная по модулю относительная погрешность расчета мощности твэла. При определении погрешности расчета  $k$  и  $N$  точными считались результаты, полученные

Результаты расчета кассет

$\Sigma_a$ , см <sup>-1</sup>	Способ расчета	$k$				$\delta k/k$ , %				$( \delta N /N)_{\text{макс}}$ , %			
		$n_B$				$n_B$				$n_B$			
		1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
		—	$n_P=6$	—	$n_P=6$	—	$n_P=6$	—	$n_P=6$	—	$n_P=6$	—	$n_P=6$
0,5	Монте-Карло	1,364	1,216	1,491	1,307	—	—	—	—	—	—	—	—
	1	1,374	1,243	1,508	1,347	0,7	2,2	1,7	3,1	2,6	2,2	5,5	5,6
	2	1,381	1,248	1,517	1,352	1,5	2,6	2,2	3,4	3,2	2,6	6,5	6,3
	3	1,385	1,250	1,522	1,355	1,8	2,8	2,6	3,7	3,6	2,8	7,1	7,2
1,0	Монте-Карло	1,577	1,399*	1,783	1,566*	—	—	—	—	—	—	—	—
	1	1,628	1,403	1,855	1,577	3,4	0,4	4,1	0,7	5,8	1,1	8,6	1,8
	2	1,623	1,397	1,848	1,570	2,9	-0,1	3,7	0,3	5,3	0,7	8,0	1,3
	3	1,612	1,390	1,833	1,563	2,2	-0,6	2,9	-0,2	5,0	0,6	7,1	0,9
2,0	Монте-Карло	1,823	1,540	2,127	1,756	—	—	—	—	—	—	—	—
	1	1,908	1,591	2,239	1,836	4,7	3,3	5,2	4,6	6,1	5,4	8,4	9,5
	2	1,881	1,567	2,204	1,806	3,1	1,8	3,5	2,9	4,6	2,9	5,1	5,7
	3	1,856	1,551	2,169	1,788	1,8	0,7	1,9	1,8	3,3	1,7	2,9	4,2

методом Монте-Карло (за исключением двух отмеченных звездочками кассет, для которых в работе [3] расчет выполнен альбедным методом в приближении  $B_1$ ).

Сравнение полученных результатов с точными показывает, что альбедный метод с приближенным определением альбедных характеристик микроячеек позволяет с удовлетворительной точностью определять энерго-распределение по твэлам кассеты. При использовании диффузионного приближения коэффициент неравномерности энергораспределения в кассете рассчитывается с погрешностью  $< 5,2\%$ , а погрешность расчета мощности отдельного твэла не превышает  $10\%$ . При этом необходимо отметить, что расчет завышает значение  $k$ , а максимальная по абсолютному значению погрешность расчета мощности твэлов наблюдается для твэлов в центральной части кассеты, имеющих малую мощность.

Предварительная гомогенизация микроячеек с использованием  $P_3$ - и  $S_8$ -приближений в целом несколько улучшает точность расчета: коэффициент неравномерности энергораспределения рассчитывается с погрешностью не более  $3,7\%$ ; максимальная погрешность при определении мощности твэла снижается до  $7-8\%$ .

Таким образом, альбедный метод при определении альбедных характеристик микроячеек в диффузионном

приближении может быть использован для расчета энергораспределения в кассете с удовлетворительной для практики теплотехнических расчетов точностью. Затраты машинного времени составят: на расчет альбедных характеристик одной микроячейки  $\sim 1$  мин, на расчет кассеты  $\sim 1$  мин на ЭВМ типа М-20. В то же время следует указать, что погрешность расчета потока нейтронов в регуляторах более значительна (до  $15\%$ ). Поэтому для расчета эффективности регулятора и коэффициента использования тепловых нейтронов применение альбедного метода требует более точного определения альбедных характеристик микроячеек.

Поступило в Редакцию 2.1.78

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pfeiffer W., Shapiro J. «Nucl. Sci. and Engng», 1969, v. 38, p. 253.
2. Aoki K., Shimizu A. «Nucl. Sci. Technol.», 1965, v. 2, p. 149.
3. Майоров Л. В. и др. В кн.: Методы расчета полей тепловых нейтронов в решетках реакторов. М., Атомиздат, 1974, с. 216.

## Рефераты статей, опубликованных в настоящем выпуске

УДК 621.039.531(47 + 57)

Зеленский В. Ф., Иванов В. Е., Казачковский О. Д., Цыканов В. А., Платонов П. А. Современное состояние работ по физике радиационных повреждений в СССР. — «Атомная энергия», 1978, т. 45, вып. 4, с. 251.

Сделан обзор современного состояния в СССР исследований по физике радиационных повреждений (ФРП) реакторных материалов. Представлены основные результаты теоретического и экспериментального изучения фундаментальных вопросов ФРП и широкого круга явлений, протекающих в материалах активной зоны ядерных реакторов (распухание, радиационный рост, радиационное упрочнение и охрупчивание и т. д.). Обсуждается вопрос о применении ускорителей заряженных частиц для имитации и изучения явлений, возникающих в материалах при нейтронном облучении. Рассмотрены некоторые вопросы, касающиеся организации научно-исследовательских работ по ФРП (рис. 6, список литературы 110 наименований).

УДК 681.8:621.039.58

Вакар К. Б. Классификация и структура акустико-эмиссионных систем контроля оборудования в ядерной энергетике. — «Атомная энергия», 1978, т. 45, вып. 4, с. 261.

Применение универсальных систем акустико-эмиссионного контроля во многих случаях неоправданно, поскольку для конкретных узлов и элементов ЯЭУ АЭС могут быть созданы более простые специализированные приборы, предназначенные для периодического контроля и непрерывного наблюдения. Модификации приборов контроля могут отличаться типом и расположением приемников, способом обработки информации, степенью автоматизации принятия решения, характером вывода информации на регистрацию. Полная система акустико-эмиссионного контроля энергетического реактора АЭС предусматривает объединение различных приборов частного назначения (подсистем) с использованием ЭВМ (рис. 6, табл. 2, список литературы 5 наименований).

УДК 621.039.56

Бабашев Н. С., Позняков Н. Л., Стрелков Д. Ф. Автоматизированный учет ядерных материалов на АЭС с ВВЭР. — «Атомная энергия», 1978, т. 45, вып. 4, с. 267.

Рассмотрены возможности автоматизации учета ядерных материалов на АЭС с реакторами ВВЭР. Предложены организационно-технические принципы построения автоматизированной системы учета, отвечающей требованиям МАГАТЭ по ведению учетной документации.

Описана программа для станционного учета материалов на ЭВМ БЭСМ-6. Работа программы предполагает размещение всех учетных данных на общеприятых носителях информации ЭВМ (магнитные ленты, диски, перфокарты), которые являются основными учетными документами АЭС и могут быть непосредственно использованы в качестве исходных данных для соот-

ветствующей информационной программы национальной службы учета или МАГАТЭ (табл. 2, список литературы 5 наименований).

УДК 621.039.577:621.039.566

Зыков К. И., Голубев Л. И., Кулаков Т. А. Гамма-спектрометрический экспериментально-расчетный метод исследования нейтронного поля и выгоревшего топлива в твэлах ВВЭР. — «Атомная энергия», 1978, т. 45, вып. 4, с. 270.

Описан способ одновременного определения средних за период облучения топлива теплового нейтронного потока и отношения надтепловых и тепловых нейтронных потоков по измерению без разрушения твэлов интенсивности  $\gamma$ -облучения  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{134}\text{Cs}$ . Этот способ эффективен при изучении относительного пространственного изменения  $\Phi_T$  и  $\alpha$  в топливных кассетах реакторов. Полученные таким образом величины  $\Phi_T$  и  $\alpha$  рекомендуются использовать для вычисления характеристик выгорания делющихся изотопов (рис. 4, табл. 1, список литературы 8 наименований).

УДК 620.192.53

Субботин А. В. О зарождении пор. — «Атомная энергия», 1978, т. 45, вып. 4, с. 276.

Рассмотрен вопрос о зарождении жизнеспособных пор в облучаемых материалах. Влияние на зарождение структуры облучаемого материала отделяется от влияния свойств пересыщенных растворов атомов внедрения и вакансий. Приведена оценка возможности применения известной модели зарождения к рассматриваемому случаю. Дан анализ выражений для скорости зарождения в различных случаях (рис. 2, список литературы 14 наименований).

УДК 537.533

Иванов М. И., Казаков В. М., Козлов О. В., Королев В. Д., Смирнов В. П., Талзи В. П., Шолин Г. В. Исследование параметров сильноточных релятивистских пучков электронов по выходу тормозного излучения. — «Атомная энергия», 1978, т. 45, вып. 4, с. 280.

Приведены результаты измерений основных параметров тормозного излучения сильноточных релятивистских пучков электронов импульсного ускорителя МС. Измерения проведены по методу поглощения с помощью сцинтилляционных детекторов с высоким временным разрешением. По результатам экспериментальных измерений выхода тормозного излучения определены как функции времени ток и энергия электронных пучков, построены проинтегрированный по импульсу спектр энергии электронов. Результаты сопоставлены с данными электротехнических измерений приложенного напряжения и тока в диоде и показана хорошая корреляция этих методов измерений параметров электронных пучков (рис. 6, список литературы 10 наименований).