

УДК 539.125.52:621.039.51.12

## Применение метода Ритца к расчету теплового реактора

ПОБЕДИН В. В., ПТИЦЫН В. А., СИМОНОВ В. Д.

Изложена методика решения одногруппового уравнения диффузии нейтронов в тепловом реакторе, основанная на применении одного из вариационных методов — метода Ритца. Рассмотрен реактор мощности  $N$ , активная зона которого  $V$  близка к цилиндру и состоит из шестигранных топливных кассет, различающихся своими размножающими свойствами. Критичность реактора поддерживается с помощью гомогенно распределенного поглотителя.

Задача состоит в расчете по заданным глубине выгорания  $\rho(\mathbf{r})$  и обогащению урана  $e(\mathbf{r})$  таких нейтронно-физических характеристик, как эффективный коэффициент размножения нейтронов  $K_{эф}$ , распределение плотности потока нейтронов  $\varphi(\mathbf{r})$  и энерговыделения  $\psi(\mathbf{r})$ , удовлетворяющих системе уравнений:

$$\Delta\varphi(\mathbf{r}) + \frac{1}{M^2} \left\{ \frac{K[\rho(\mathbf{r}), e(\mathbf{r}), \psi(\mathbf{r})] - 1}{K_{эф}} - 1 \right\} \varphi(\mathbf{r}) = 0; \mathbf{r} \in V;$$

$$\mathbf{n}\nabla\varphi(\mathbf{r}) + d^{-1}\varphi(\mathbf{r}) = 0; \mathbf{r} \in \Gamma; \quad (1)$$

$$\psi(\mathbf{r}) = K[\rho(\mathbf{r}), e(\mathbf{r}), \psi(\mathbf{r})] \varphi(\mathbf{r}), \mathbf{r} \in V; \int \psi(\mathbf{r}) dV = N;$$

$$\varphi(\mathbf{r}) \geq 0.$$

Здесь  $M^2$  — средняя площадь миграции нейтронов;  $\mathbf{n}$  — внешняя нормаль к границе активной зоны  $\Gamma$ ;  $d^{-1}$  — константа, характеризующая граничные условия;  $\Delta$  — оператор Лапласа.

Задача (1) решается в два этапа. Первый состоит в линейризации ее с помощью итераций, несколько отличающихся от итераций источника. На втором этапе линейризованная задача решается с помощью метода Ритца. Родство задачи (1) задаче на собственные значения оператора Лапласа в цилиндре (область слабо отличается от цилиндра) позволило выбрать в качестве

координатных собственные функции последней задачи. Приближенное решение линейризованной задачи (1) находим в виде

$$\tilde{\varphi} = \sum_J c_J \varphi_J.$$

Неизвестные значения  $c_J$  находятся из системы Ритца с помощью следующей итерационной процедуры:

$$\lambda^p = \frac{A_{1,1}}{B_{1,1}} + \sum_{J_2 \neq 1} \frac{A_{1,J_2} - \lambda^{p-1} B_{1,J_2}}{B_{1,1} c_1^{p-1}};$$

$$c_{J_1}^p = - \frac{\sum_{J_2 \neq J_1} (A_{J_1, J_2} - \lambda^p B_{J_1, J_2}) c_{J_2}^{p-1}}{A_{J_1, J_1} - \lambda^p B_{J_1, J_1}}; \quad (2)$$

$$c_1^p = \frac{N}{Q_1} - \sum_{J \neq 1} Q'_J c_J^p,$$

где последнее рекуррентное соотношение получаем из четвертого уравнения системы (1).

Хорошая обусловленность матриц  $A_{J_1, J_2}, B_{J_1, J_2}$  обеспечивает быструю сходимость итерационного процесса (2) [3—4 итерации при погрешности до 1%].

Методика применена для расчета ВВЭР. Соответствующая программа позволяет рассчитывать средние по кассетам потоки и энергораспределения, эффективный коэффициент размножения нейтронов, а также кампанию реактора и критическую концентрацию поглотителя. Результаты расчетов сравниваются с более точными вычислениями.

(№ 948/9229. Поступила в Редакцию 12/IV 1977 г. Полный текст 0,4 а. л., список литературы 10 наименований).

УДК 621.039.73:66.074

## Радиохроматографическая система очистки газов от радиоактивных загрязнений на АЭС с ВВЭР

НАХУТИН И. Е., ОЧКИН Д. В., ПИСЬМАН Б. Я., БАБЕНКО Е. А., КРАСИКОВ А. Н., ТРЕТЬЯК С. А., ХЛЮСТОВА Т. М.

В статье описывается радиохроматографическая установка, предназначенная для очистки газообразных отходов АЭС от радиоактивных загрязнений (см. рисунок). Основной узел системы — фильтр-адсорбер 1 с активным углем. Адсорбер рассчитан на работу при комнатной температуре в режиме «вечной» колонны без регенерации. В схеме предусмотрены предварительное охлаждение газа в теплообменнике 6, фильтрация от аэрозолей в самоочищающемся фильтре 5 и глубокая осушка на цеолитовых колоннах 3. В системе осушки остаточное влагосодержание очищаемого газа понижается до 0,1 г/м<sup>3</sup>. Регенерация цеолитовых колонн

осуществляется горячим атмосферным воздухом при помощи электронагревателя 2. После цеолитовой колонны регенерационный воздух охлаждается в теплообменнике 4. На АЭС с ВВЭР система газоочистки состоит обычно из двух или трех взаимозаменяемых ниток. Такая система на третьем и четвертом блоках НВАЭС при рабочем объеме адсорбера 20 м<sup>3</sup> обеспечивает коэффициент очистки 10<sup>2</sup>. Рабочий объем адсорбера 40 м<sup>3</sup> на АЭС «Ловиса» (Финляндия) способствует задержке криптона в течение 10 сут, что с запасом обеспечивает необходимую очистку. Концентрация радиоактивных газов на выходе из системы во всех случаях значитель-

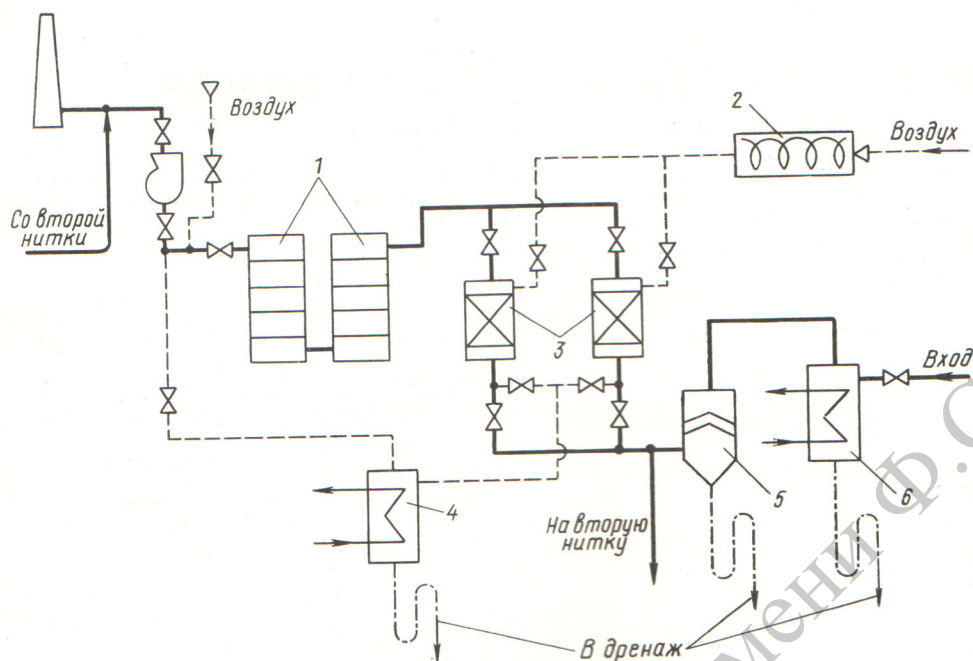


Схема установки очистки газообразных отходов АЭС

но ниже предельно допустимых норм. В настоящее время эта система является стандартной для всех АЭС с ВВЭР.

(№ 949/9421. Статья поступила в Редакцию 12/VIII 1977 г., аннотация — 2/XII 1977 г. Полный текст 0,2 а. л., рис. 1, список литературы 4 наименования).

## Новые книги

Мительман М. Г., Дубовский Б. Г., Любченко В. Ф. **Детекторы для внутриреакторных измерений энерговыделения.** М., Атомиздат, 1977. 152 с. 97 к.

Эта книга является первой отечественной монографией, посвященной детекторам для внутриреакторных измерений энерговыделения. Ее авторы — известные специалисты по разработке и практическому внедрению детекторов для действующих систем внутриреакторного контроля. Это и определило вопросы, освещенные в книге.

В первых трех главах описываются общие вопросы контроля энерговыделения в ядерных реакторах, формулируются основные требования к детекторам и системам внутриреакторного контроля энерговыделения. Здесь следует отметить четкий подход к понятию погрешности измерений, который представляет вариант «худшего случая», и это является оправданным, поскольку речь идет об ответственных системах. Оригинальным является введенное в первой главе понятие о локальности детекторов.

В последующих четырех главах рассматриваются основные типы детекторов, анализируются достоинства и недостатки методов контроля, использующих конкретные типы детекторов. Впервые линейность и идентич-

ность токовых ионизационных камер выводится из общей системы уравнений. Наибольшее внимание уделено описанию зарядовых детекторов, что естественно для авторов, приоритет которых в разработке этих типов детекторов признан как в нашей стране, так и за рубежом. Впервые в достаточном объеме дана теория работы зарядовых детекторов, основные принципы их конструирования и применение. Большое внимание уделено измерению энерговыделения в нестационарном режиме, погрешностям, вносимым токами линии связи и термотоками. Однако в этой части книги надо отметить излишнее повторение в каждой главе требований к детекторам и их конструктивным элементам, которые по существу полностью изложены в § 3.1.

В восьмой главе, где описаны конкретные системы внутриреакторного контроля энерговыделения, наиболее интересен § 8.5, посвященный системам с зарядовыми детекторами.

Книга содержит большой справочный материал, обширную библиографию (127 наименований). Она предназначена для инженерно-технического персонала АЭС, научных сотрудников, занимающихся проектированием АЭС, студентов вузов.

РЕЗНИКОВ Р. С.