

УДК 621.039.51

А. В. ОВСЕПЯН, И. Н. АЙРАПЕТЯН

МЕТОД РАСЧЕТА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОТКЛОНЕНИЙ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ЭНЕРГОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В РЕАКТОРАХ ПО ПОКАЗАНИЯМ ВНЕЗОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ

Приведен метод расчета для восстановления отклонений пространственного энергораспределения в реакторах по показаниям внезонных датчиков. Численные расчеты приведенным методом по программе показывают хорошее согласие с экспериментальным распределением скоростей реакции $^{235}\text{U}(n, f)$ по объему активной зоны критической сборки.

Главной особенностью измерительной системы ВТГР с шаровыми твэлами является отсутствие нейтронных датчиков внутри активной зоны реакторов. Поэтому информация о распределении полей нейтронов и температур внутри активной зоны определяется по результатам внезонных измерений [1]. В связи с этим размещение измерительной аппаратуры вне активной зоны выдвигает определенные требования при разработке методов и программ восстановления полей энерговыделения.

Для восстановления нейтронных полей в ВТГР с шаровыми твэлами нами разработан метод расчета. Так, как и, в программе SCURT, используется метод линейной суперпозиции [2]. Геометрия зоны описывается в двух измерениях r, φ .

Предполагали, что между средними скоростями реакций в секторе и показаниями внезонных датчиков существует линейная связь

$$\Phi_i = C_0 + C_1 d_1 + C_2 d_2 + C_N d_N, \quad (1)$$

где Φ —скорость реакций, d_j —показания детекторов, i —номер сектора.

При разбиении зоны на одинаковые сектора индекс i может быть опущен в силу симметрии, а показания симметричных относительно i датчиков могут быть учтены в одном слагаемом.

Например,

$$\Phi_1 = C_0 + C_1 d_1 + C_2 \frac{d_2 + d_4}{2} + C_3 d_3,$$

$$\Phi_3 = C_0 + C_1 d_2 + C_2 \frac{d_1 + d_4}{2} + C_3 d_4$$

или

$$\Phi_i = C_0 + C_1 d_i + C_2 \frac{d_{i-1} + d_{i+1}}{2} + C_3 d_n \quad (2)$$

в случае разбиения на 4 сектора.

Объединение показаний симметричных датчиков уменьшает ранг матрицы, а также улучшает результат в смысле зависимости от случайных отклонений, т. к. содержит в себе информацию о симметрии.

В случае 8-и секторов запишем

$$\begin{aligned} \Phi_i = & C_0 + C_1 d_i + C_2 \frac{d_{i+1} + d_{i-1}}{2} + C_3 \frac{d_{i+2} + d_{i-2}}{2} + \\ & + C_4 \frac{d_{i+3} + d_{i-3}}{2} + C_5 d_5 \quad (i-n \rightarrow i+8-n). \end{aligned} \quad (3)$$

Свободный член C_0 описывает фоновое поле, которое присутствует в результате измерений (рис. 1), т. к. линия зависимости показаний детектора от среднего поля не проходит через нуль. Он учитывает также среднее невозмущенное поле по реактору.

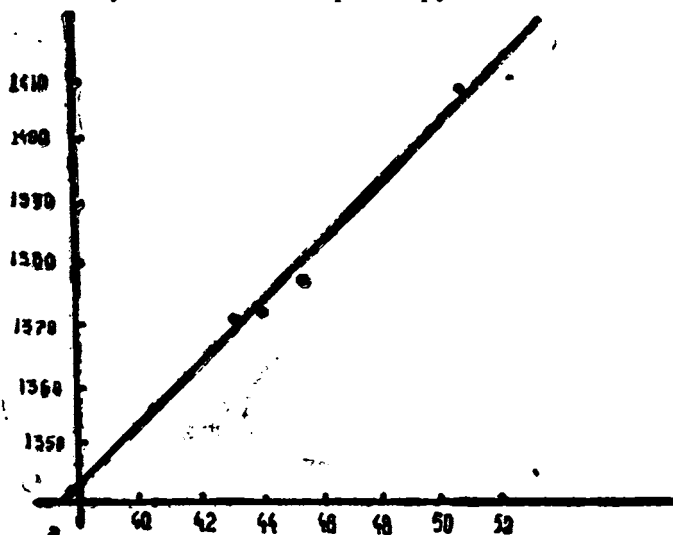


Рис. 1. Зависимость между средними значениями скоростей реакции $^{235}\text{U}(n, f)$ и показаниями детекторов для 4-х секторов.

В отличие от SCURT [2] здесь нет необходимости в обращении матрицы и сразу можно вычислять восстанавливающую матрицу

$$\Phi = Dd + C_0.$$

В случае отсутствия симметрии в распределении врезонных детекторов либо отсутствия симметрии в конструкции зоны (наличие поглощающих или конструктивных элементов) соответствующие соотношения запишутся следующим образом:

$$\Phi_i = C_{0i} + \sum_j d_j, \quad j = 1, 2, \dots, N, \quad (4)$$

где N —число детекторов.

Элементы \hat{C} определяются методом наименьших квадратов, причем число смоделированных состояний будет превышать количество датчиков.

При использовании симметрии это превышение значительно.

Численные расчеты приведенным методом проводились по программе IZA.

Результаты расчетов естественно зависели от вводимых данных. В случае малого числа используемых детекторов картина восстановленного поля отличается от измеренной не более чем на 2% (рис. 2а). Однако при восстановлении некоторых состояний (рис. 2б) наблюдается сравнительно большое отклонение, что, видимо, обусловлено некорректностью экспериментальных данных, т. к. те же точки «выпадают» и на зависимостях детектор—поле и детектор—детектор (рис. 1, 3).

При расчетах с большим числом разбиений отклонения (рис. 4) между восстановленными значениями и известными возрастают, что и следовало ожидать. Первой основной причиной роста отклонений является разброс в исходных данных, второй—то, что естественное восстановление более подробной картины поля возможно с меньшей относительной точностью.

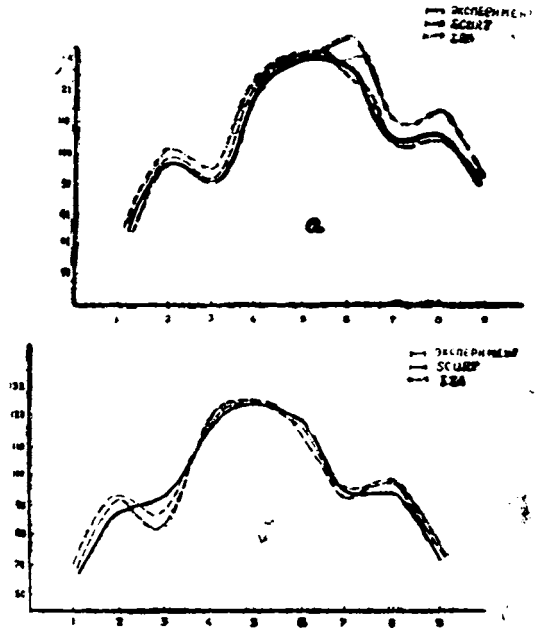


Рис. 2. Распределения скоростей реакции ^{235}U (n , в направлении $\pi/4$ активной зоны сборки а) для состояния 1, б) для состояния 4, восстановленные по программе SCURT, IZA и полученные экспериментальным путем (4 сектора).

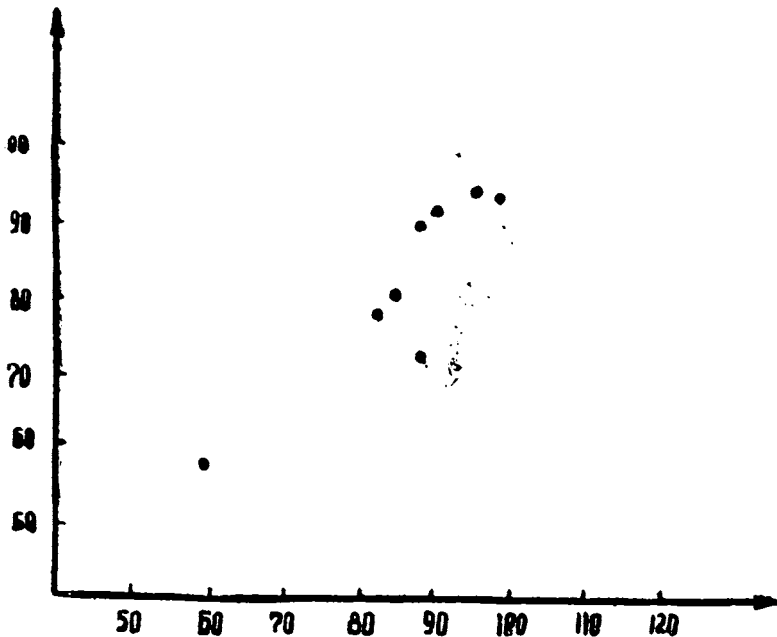


Рис. 3. Зависимость детектор—детектор для 6 секторов.

Однако абсолютное отклонение при восстановлении по большему числу детекторов не является закономерным, и оно заложено уже в исходных данных.

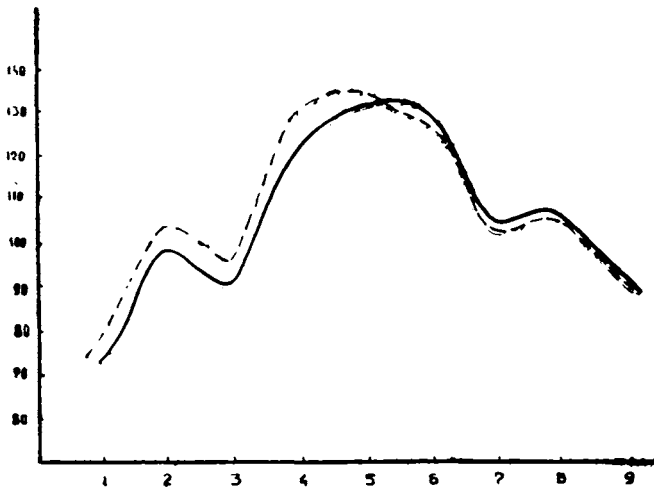


Рис. 4. Распределение скоростей реакции $^{235}\text{U}(n, f)$ в направлении $\pi/4$ активной зоны сборки для состояния 1, восстановленное по программе SCURT, IZA и полученное экспериментальным путем (8 секторов).

Аналогичные результаты получены и при восстановлении поля в зависимости от угла φ (рис. 5а, б).

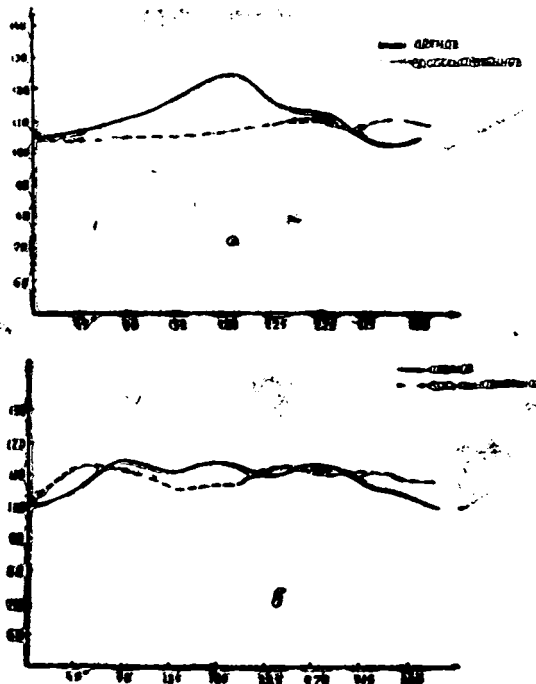


Рис. 5. Азимутальное распределение полей нейтронов а) $R=75$ см; б) $R=100$ см.

В таблице приводятся сравнительные данные по восстановлению поля по программе SCURT и IZA.

Точки	Эксперимент	SCURT	Отклонение	IZA	Отклонение
6	70	72,81	-4,01	71,81	-2,59
17	78	81,13	-4,01	80,02	-2,59
45	85	75,82	10,8	91,8	-8,0
57	105	93,66	10,8	98,91	5,8
63	115	105,44	8,31	106,33	5,8
78	93	82,96	10,8	87,6	5,8
89	88	78,5	10,8	86,62	1,57
93	114	123,83	-8,62	106,81	6,31
101	97	86,53	10,8	95,48	1,57
126	96	104,28	-8,62	89,94	6,31
133	77	83,64	-8,62	75,79	1,57
99	88	80,68	8,31	86,62	1,57
86	115	105,44	8,31	108,33	5,8
87	108	99,02	8,31	101,73	5,8

Таким образом, можно сделать вывод, что восстановление картины полей внутри зоны ВТГР по внезонным детекторам возможно методом линейной суперпозиции с точностью измерения 4—5%, причем при предварительной статистической обработке измеряемых величин число разбиений активной зоны может не превышать 12.

Кафедра теоретической физики,
кафедра физики атомного
ядра и элементарных частиц

Поступила 20.03.1987

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпов В. А. Топливные циклы и физические особенности высокотемпературных реакторов. М.: Энергоатомиздат, 1985.
2. Карпов В. А., Удянский Ю. Н. Вычисление программы для восстановления пространственного энергораспределения в реакторах с шаровыми твэлами по показаниям внезонных детекторов.—Отчет ИАЭ, инв. № 35/659485. М.: 1985.

Ա մ փ ո փ ո ս մ

Բերված է հաշվարկի մեթոդ ուսուցողական էներգաբաշխվածությունների արտադրության դետեկտորների ցուցմունքների օգնությամբ: Հստ ծրագրի թվային հաշվարկները տրված մեթոդով ցույց են տալիս լավ համընկնում²³⁵U(n, f) ուսուցողական արագության էքսպերիմենտալ բաշխվածության հետ ակտիվ զոնայի ամբողջ ծավալի կրիտիկական շարվածքով:

SUMMARY

A method of spatial energy distribution in the reactors by means of the evidence of out of the zone detectors is presented in the paper. The quantity calculation of the present method by the program showed a good agreement with the experimental distribution of the ²³⁵U(n, f) reaction rate in the whole volume of the critical collection of the active zone.