

## Об оптимальном принципе гидравлического профилирования ядерных реакторов

А. И. КЛЁМИН, И. С. КОЧЕНОВ, М. М. СТРИГУЛИН

УДК 621.039.51

В вопросе о том, как наилучшим образом распределить расход теплоносителя между каналами активной зоны (по какому параметру провести оптимизацию), нет единого мнения. Обычно гидравлическое профилирование проводится либо по условию равных приращений энthalпии в каналах  $\Delta i_k = \text{idem}$  (при этом расходы распределяются пропорционально мощности каналов), либо по условию «равного запаса до кризиса кипения»

$$\eta_k = \min_{(по z)} \frac{q_{кр}(z) - q(z)}{q(z)} = \text{idem}, \text{ где } z - \text{высота вдоль оси канала.}$$

Недостатки первого из указанных принципов профилирования: 1) не полностью используются возможности (запасы) каналов с меньшей мощностью [1]; 2) не учитывается эпюра тепловыделения по высоте канала. Недостатком второго принципа является то, что параметр  $\eta$  не характеризует истинных запасов до кризиса кипения, так как с ростом мощности канала не только увеличивается  $q(z)$ , но и уменьшается расход, растет энthalпия, в результате чего кризис наступает значительно раньше. Кроме того, в процессе применения перечисленных критериев профилирования обычно не учитываются случайные отклонения режимных и конструктивных параметров активной зоны от номинальных значений. Это наиболее корректно можно сделать с помощью методов теории вероятностей.

В работе предлагается проводить гидравлическое профилирование активной зоны по принципу максима

показателя ее теплотехнической надежности [2], т. е. максимума вероятности того, что все каналы активной зоны будут работать в нормальных тепловых режимах ( $R_{a.z} = R_{a.z, \text{ макс}}$ ).

Показано, что для практически интересных случаев это условие соответствует принципу равной надежности каналов:  $R_k = \text{idem}$ . При некоторых предположениях получена простая формула для расчета расходов теплоносителя в каналах реактора в соответствии с предложенным принципом.

На конкретном примере показано, что применение нового принципа гидравлического профилирования позволило, не изменяя надежности ( $R_{a.z} = 0,99$ ), повысить мощность большого кипящего реактора более чем на 11%, по сравнению с профилированием по принципам  $\Delta i_k = \text{idem}$  или  $\eta_k = \text{idem}$ .

(№ 335/5314. Статья поступила в Редакцию 24/III 1969 г., аннотация — 3/VI 1969 г. Полный текст 0,5 а. л., 4 библиографических ссылки).

### ЛИТЕРАТУРА

1. А. Я. Крамеров, Я. В. Шевелев. Инженерные расчеты ядерных реакторов. М., Атомиздат, 1964.
2. А. И. Клёмин, М. М. Стригулин. Некоторые вопросы надежности ядерных реакторов. М., Атомиздат, 1968.

## Применение метода Карлсона для расчета прохождения излучения через защиту

Д. Л. БРОДЕР, И. Н. КУЛИКОВА, С. М. РУБАНОВ, В. Н. ТРОФИМОВ

УДК 539.122:539.166:621.039.58

Для расчета защиты от  $\gamma$ -излучения весьма перспективным является  $S_n$ -метод, разработанный Карлсоном. Не представляет труда провести расчеты в достаточно близких приближениях этого метода, таких, как  $S_6$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{24}$ . Метод позволяет достаточно точно описать угловое распределение во всех энергетических интервалах, а также проводить расчеты многослойных защит и вычислять потоки за защитными барьерами. Кроме того, существует возможность неравномерного разбиения интервала углов: можно выбрать большее число точек в исследуемых направлениях, например в направлении малых углов.

С помощью метода Карлсона авторами настоящей работы были рассчитаны дифференциальные энергетические спектры, факторы накопления в свинце, железе и воде. Факторы накопления в многослойной геометрии — свинец; при этом были выбраны значения  $\mu$  функции угла, определяющего направление потока частиц, равные 1; 0,9; 0,6; 0; -0,6; -0,9; -1. Величина эффективного коэффициента ослабления нерассеянного излучения точечного источника, полученная в таком расчете, отличается от точного значения на 3%;

в случае равномерного разбиения отличие составляет 13%. Расчеты велись по программе, составленной для ЭВМ М-20. Максимальное число энергетических групп равнялось 26. Может быть учтено до 10 энергетических переходов из группы в группу. Максимальное число слоев не должно превышать 15, а число расчетных точек — 146. Точность задания индикатрисы рассеяния  $\gamma$ -квантов — до 6 членов разложения по полиномам Лежандра.

Для проверки метода были предприняты расчеты дифференциальных энергетических спектров  $\gamma$ -излучения и дозовых факторов накопления  $\gamma$ -излучения в воде и свинце от точечных изотропных источников с энергией 6,6 и 8,7 Мэв. Результаты хорошо согласуются с данными расчетов по методу моментов.

Помимо разбиения энергетического интервала на группы было рассмотрено и разбиение на узлы, т. е. определение дифференциального энергетического спектра по дискретным значениям энергии. При этом уравнение Больцмана резко упрощается, исчезают переходы типа  $E_k \rightarrow E_k$ , метод Карлсона из итерационного становится точным. Сечения типа узел — узел определяют

ся по формуле

$$\sigma_l^{n \rightarrow m} = \int_{\mu_1}^{\mu_2} \left( \frac{\partial \sigma}{\partial \mu} \cdot \frac{\partial E'}{\partial E} \right) P_l(\mu) d\mu,$$

где  $\mu_1 = \mu(E_n E_m)$ ;  $\mu_2 = \mu(E_{n+1} E_m)$ ;

$$\mu(E' E_m) = 1 - \left( 1 - \frac{E'}{E_m} \right) \frac{mc^2}{E_m}.$$

Проверка узлового разбиения энергетического интервала была осуществлена для  $\gamma$ -квантов с начальной энергией  $E_0 = 1$  Мэв. Отмечено хорошее согласие расчетных данных с результатами вычислений по другим методам и экспериментальным данным для источника  $Co^{60}$ .

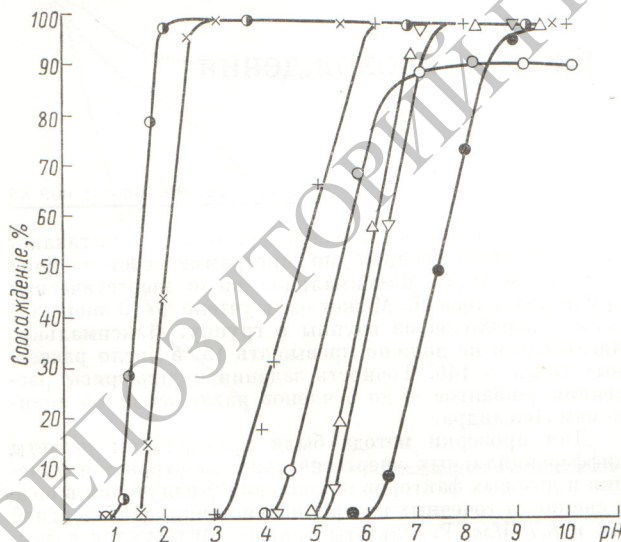
(№ 336/5159. Статья поступила в Редакцию 20/XI 1968 г., аннотация — 2/IV 1969 г. Полный текст 0,45 а. л., 3 рис., 5 библиографических ссылок.)

## Соосаждение плутония с гидратированными окислами циркония и марганца (IV)

А. И. НОВИКОВ, И. А. СТАРОВОЙТ

УДК 542.65+546/799.4/831/714

Ранее нами было изучено соосаждение плутония с гидроокисью железа (III) в растворах нитрата и карбоната аммония [1]. В настоящей работе изучалось соосаждение малых количеств плутония ( $10^{-5}$  мол/л) в различной степени окисления его гидратированными окислами циркония и марганца (IV) в зависимости от pH среды в 1M нитрате аммония. Эта зависимость аналогична соосаждению с гидроокисью железа таких трехзарядных катионов, как хром [2], скандий [3], иттрий [4], лантан [5], кобальт [6]; четырехзарядных катионов, как торий [7], цирконий и гафний [8]; двухзарядных катионов, как барий [5], кальций [3], стронций [4] и ион уранила [9]. Валентное состояние плутония стабилизировалось: гидросиламином — для плутония (III), нитритом аммония — для плутония (IV) и хлорамином-T для плутония (VI) при соосаждении его с гидроокисью циркония.



Соосаждение плутония с гидратированными окислами циркония и марганца (IV) в 1 M растворе  $NH_4NO_3$  или 0,1 M растворе  $NH_4ClO_4$ :

+ — соосаждение Pu(III) с гидроокисью циркония; ○ — осаждение Pu(III); × — соосаждение Pu(IV) с гидроокисью циркония; ● — осаждение Pu(IV); △ — соосаждение Pu(VI) с гидроокисью циркония; ● — осаждение Pu(VI); ▽ — соосаждение Pu(III — VI) с двуокисью марганца в 1M  $NH_4NO_3$ .

Соосаждение указанных валентных форм плутония, как и других гидролизующихся катионов, по нашему мнению, обусловлено координационным присоединением гидроксокатионов плутония через оловые или водородные мостики к осадку гидроокиси циркония или двуокиси марганца.

Двуокись марганца получалась простым сливанием в стехиометрическом соотношении семи- и двухвалентного марганца. При этом вследствие окисления плутония (III) и плутония (IV) ионами перманганата до плутония (VI), которое протекает практически мгновенно, соосаждение плутония с  $MnO_2 \cdot H_2O$  оказалось идентичным соосаждению плутония (VI) с гидроокисью циркония (см. рисунок).

Соосаждение малых количеств плутония (III, IV, VI) с гидратом двуокиси циркония в зависимости от pH среды характерно для каждой степени его окисления и при увеличении pH среды происходит в последовательности: плутоний (IV), плутоний (III), плутоний (VI), что соответствует возрастанию ионных потенциалов в той же последовательности.

Концентрирование плутония соосаждением с гидроокисью циркония возможно при  $pH \geq 3$  для плутония (IV),  $pH \geq 6$  для плутония (III) и  $pH \geq 7$  для плутония (VI). Концентрирование плутония с гидратированным окислом марганца (IV) происходит при  $pH \geq 7$ . Возможно отделение плутония от указанных носителей при окислении его до шестивалентного состояния и осаждении гидратированных окислов носителей при  $pH < 5$ .

(№ 337/4836. Поступила в Редакцию 5/V 1968 г. Полный текст 0,3 а. л., 1 рис., 14 библиографических ссылок.)

### ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Новиков, И. А. Старовойт. «Ж. аналит. химии», 19, 3, 346 (1964).
2. А. И. Новиков. «Ж. аналит. химии», 17, 9, 1076 (1962).
3. А. И. Новиков. «Изв. СО АН СССР. Серия хим. наук», № 11, вып. 3, 64 (1965).
4. А. И. Новиков, И. А. Старовойт. «Докл. АН ТаджССР», 8, 6, 25 (1965).
5. А. И. Новиков, Т. А. Пирогова. «Докл. АН ТаджССР», 8, 9, 21 (1965).