

## Экспериментальное изучение тепловых режимов твэлов реактора ВВР-М

И. Ф. Барчук, М. М. Назарчук, С. С. Огородник,  
Д. Т. Пилипец, С. О. Слесаревский

Для выбора оптимальных режимов охлаждения активной зоны реактора ВВР-М [1] при работе на различных уровнях мощности, а также для выяснения резерва в существующей системе охлаждения измерялась температура поверхности твэлов.

Известно, что распределение нейтронов в активной зоне реактора ВВР-М неравномерно [2]. Следовательно, теплонпряженность твэлов в различных точках активной зоны неодинакова. Определение оптимальных режимов охлаждения имеет большое значение для выяснения возможностей форсирования мощности реакторов [3].

Задача наших измерений заключалась в следующем:

1) изучить распределение температуры поверхности твэлов по высоте и радиусу активной зоны;

2) определить влияние на это распределение стержней регулирования;

3) выбрать оптимальные расходы теплоносителя.

Для выполнения указанного комплекса измерений на поверхности твэла по образующим всех трубок были укреплены хромель-алюмелевые или хромель-копелевые термопары диаметром 0,05—0,1 мм. Малая

толщина оболочки твэла (0,7 мм) создавала определенные трудности в креплении горячих спаев термопар. Известный способ зачеканивания не мог быть применен из-за опасности повреждения твэла. Поэтому для креп-

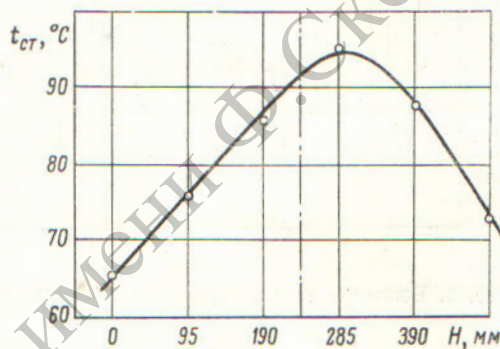


Рис. 2. Распределение по высоте температуры поверхности твэла  $t_{ст}$  при мощности реактора 12 Мвт и расходе теплоносителя 1300 м³/ч.

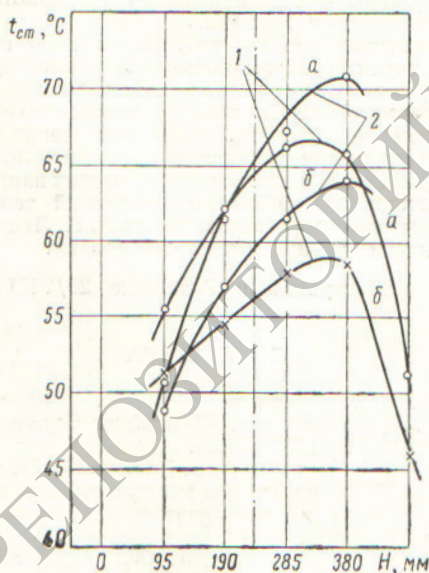


Рис. 1. Распределение по высоте температуры поверхности твэла  $t_{ст}$  в зависимости от положения регулирующего стержня, расположенного в соседней ячейке, при мощности реактора 2 Мвт:

1 — температура поверхности твэла, обращенной к регулирующему стержню; 2 — температура наиболее удаленной от стержня поверхности твэла; а — стержень извлечен из активной зоны; б — стержень введен в активную зону.

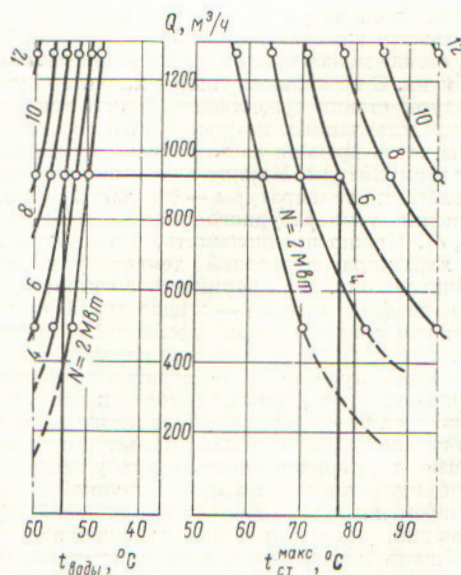


Рис. 3. Зависимость максимальной температуры поверхности твэла ( $t_{макс ст}$ ) и температуры воды на выходе из каналов ( $t_{воды}$ ) от расхода теплоносителя  $Q$  и мощности реактора  $N$ .

ления термопар использовались алюминиевые накладки толщиной 0,15 мм, которые укреплялись на поверхности твэла точечной сваркой при помощи конденсаторной сварочной машины. Такой способ крепления обеспечивал надежный контакт термопары с поверхностью элемента, а хорошая теплопроводность и малая толщина алюминиевых накладок не оказывала заметного влияния на измеряемую температуру. Перед установкой в реактор термопары градуировались в пределах 20—100°С. Необходимость этой операции обусловлена неидентичностью технологического процесса изготовления термопар.

В первой серии измерений изучались температурные режимы твэлов, расположенных в активной зоне реактора вблизи водной полости, бериллиевого отражателя и стержней регулирования. Опыты показали, что различие температур поверхности элемента со стороны полости и со стороны активной зоны не существенно. Значительное влияние на температуру твэла оказывает положение стержней регулирования (рис. 1). Выяснено, что температура твэла со стороны стержня регулирования ниже температуры противоположной поверхности элемента даже при извлеченном стержне.

Измерения показали, что наиболее теплонапряженная область активной зоны находится на ее периферии, вблизи бериллиевого отражателя. В связи с этим при выборе оптимальных расходов теплоносителя и определении максимальной мощности реактора измерения проводились в периферийном слое активной зоны.

Задача измерений заключалась в том, чтобы при заданном расходе теплоносителя через активную зону поднять мощность реактора до величины, соответствующей максимальной температуре поверхности твэлов 95°С. При расходах теплоносителя 530, 960 и 1300 м<sup>3</sup>/ч максимальная мощность реактора составила 6; 10 и 12 Мвт соответственно. При этом температура охлаждающей воды на выходе из активной зоны равнялась 60—62°С. На рис. 2 показано распределение по высоте температуры поверхности твэла при мощности реактора 12 Мвт и расходе теплоносителя 1300 м<sup>3</sup>/ч.

На основании результатов измерений температурных режимов твэлов построена номограмма оптимальных режимов работы реактора (рис. 3). В результате выполненных исследований установлено, что система охлаждения реактора ВВР-М имеет достаточный резерв для его надежной эксплуатации на мощности 12 Мвт.

Поступило в Редакцию 24/III 1964 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Гончаров и др. В кн. «Труды Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии». Докл. советских ученых. Т. 2. М., Атомиздат, 1959, стр. 243.
2. М. В. Пасечник, И. Ф. Барчук, В. Б. Климентов «Укр. фіз. ж.», 7, 3 (1962).
3. В. Бышевски, Е. Александрович, Л. Жабло. «Нуклеоника», 5, 727 (1960).

УДК 621.030.58

## Ослабление железом и полиэтиленом тканевой дозы нейтронов при наклонном падении их на защиту

Г. В. Мирошников

При конструировании защиты от нейтронов широкое применение нашли полиэтилен и железо, защитные свойства которых изучались во многих работах [1—3]. Для точного расчета биологической защиты необходимы данные о пространственно-энергетическом распределении в ней нейтронов или об ослаблении тканевой дозы.

Этот вопрос в литературе освещен недостаточно, особенно для тонких слоев (при толщинах меньше трех-четырех длин свободного пробега нейтронов). При расчетах защиты в этом случае существенно учитывать угол падения нейтронов на преграду.

Защитные свойства тонких слоев железа и полиэтилена ( $\leq 11$  см) исследованы с помощью фотонейтронных источников  $Sb^{124}(\lambda) + Be^9$ ,  $Na^{24}(\gamma) + D^2$ ,  $N^{24}(\gamma) + Be^9$  (средние энергии нейтронов составляли 24 кэв, 0,22 и 0,83 Мэв) и каскадного генератора, использованного для получения нейтронов с  $E_n = 3$  Мэв по реакции  $D^2(\alpha, n) He^3$ .

Плиты из исследуемых материалов размером  $2000 \times 1000 \times 10$  мм устанавливали на расстоянии 2—3 м от источника нейтронов. Измерения проводили в барьерной геометрии дозиметром и «радиометром», описанными в работе [4]. Эти приборы представляют собой парафиновые шары диаметром соответственно 30 и 21 см. В центре шаров располагаются детекторы, регистрирующие тепловые и медленные нейтроны. С помощью дозиметра измерялись за защитой максимальные и среднетканевые дозы нейтронов с началь-

ными энергиями 0,22; 0,83; 3 Мэв. Второй прибор регистрировал ослабление защитой среднетканевой дозы нейтронов с начальной энергией 24 кэв (ниже этой энергии эффективность прибора и среднетканевая доза примерно одинаково зависят от энергии нейтронов).

Результаты измерений показаны на рисунке, где для полиэтилена приведены также данные расчета методом Монте-Карло [5]. Расхождение экспериментальных и расчетных значений составляет не более 30—40%. Статистическая ошибка измерений не превышала 5%. Видно, что ослабление дозы нейтронов сильно зависит от угла падения и начальной энергии нейтронов. Кривые ослабления после небольшого начального участка могут быть представлены соотношениями вида

$$\frac{D(x, \beta, E)}{D_0(E)} = C_g(\beta, E) e^{-\frac{x}{L_g(\beta, E)}}$$

где  $D(x, \beta, E)$  и  $D_0(E)$  — мощность дозы за защитой и перед защитой соответственно;  $C_g(\beta, E)$  — коэффициент, зависящий от фактора накопления дозы и альbedo нейтронов;  $L_g(\beta, E)$  — длина релаксации дозы нейтронов;  $x$  — толщина слоя защиты по нормали к поверхности;  $\beta$  — угол падения нейтронов на преграду (между нормалью и направлением движения нейтронов).

Значения  $L_g(\beta, E)$  и  $C_g(\beta, E)$  для железа и полиэтилена при различных углах падения и энергиях нейтронов даны в таблице.