

# Метод расчета коэффициентов теплообмена при продольном омывании жидким металлом пучков твэлов

М. Х. ИБРАГИМОВ, А. В. ЖУКОВ

УДК 621.039.517.3

Температурные поля и теплоотдача в активных зонах реакторов, состоящих из цилиндрических твэлов, зависят не только от физических свойств и режима течения теплоносителя, но и от характеристик твэлов (теплопроводности оболочки и ядерного горючего, толщины оболочки, шага решетки твэлов  $x$ ). Аналитическое решение задачи о теплообмене в пучках твэлов известно лишь для ламинарного течения [1, 2]. В предлагаемых некоторыми авторами методах расчета теплообмена в пучках стержней при турбулентном течении, как правило, не учитывается влияния характеристик твэлов на теплообмен, поэтому применение этих методов ограничено.

Основная идея описанного метода расчета коэффициентов теплообмена в пучках твэлов заключается в том, что отдельно учитываются молекулярная и турбулентная составляющие чисел Нуссельта, а значения этих составляющих определяются в зависимости от характеристик твэлов и профиля скорости:

$$Nu = f_1 Nu_s + f_2 Pe. \quad (1)$$

Число Нуссельта  $Nu_s$  для ударного потока (плоский по сечению канала профиль скорости при числе  $Pr \rightarrow 0$ ) определяется из совместного решения уравнений теплопроводности и теплообмена в делящемся материале (т), в оболочке (с) и в теплоносителе (ж):

$$\left. \begin{aligned} \nabla^2 t_T + \frac{q_v}{\lambda_T} &= 0; \\ \nabla^2 t_c &= 0; \\ \nabla^2 t_{ж} &= \frac{w}{a} \cdot \frac{\partial t_{ж}}{\partial z} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

при соответствующих граничных условиях на внутренней (радиус  $R_1$ ) и внешней (радиус  $R_2$ ) оболочках твэ-

лов. Значения  $Nu_s$  зависят от  $x$  и параметров твэла:

$$\Lambda_0 = \frac{\lambda_c - \lambda_T}{\lambda_c + \lambda_T}; \quad \xi = \frac{R_1}{R_2}; \quad \frac{\lambda_c}{\lambda_{ж}}$$

Функция  $f_1$  находится из аналитического решения задач о теплообмене в пучках твэлов для ламинарного, турбулентного и ударного профилей скорости при  $Pr \rightarrow 0$ . Эта функция зависит от числа  $Re$  и величины  $x$ . Эмпирическая функция  $f_2$ , связанная с вкладом турбулентности в процесс теплообмена, зависит от относительного шага решетки твэлов.

Результаты, полученные из выражения (1), удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными по теплообмену к жидким металлам в пучках стержней в широком диапазоне чисел Пекле ( $1 \leq Pe \leq 4000$ ), относительных шагов ( $1,0 \leq x \leq 1,75$ ) и параметров стержней:  $\frac{\lambda_c}{\lambda_{ж}} = 0,67 \div 16,3$ ;  $\xi = 0,77 \div 0,93$ . Это выражение заменяет эмпирические и аналитические формулы, справедливые для расчета чисел  $Nu$  в узкой области чисел  $Pe$ , относительных шагов и параметров  $\frac{\lambda_c}{\lambda_{ж}}$ ,  $\frac{\lambda_T}{\lambda_{ж}}$ ,  $\xi$ , и может быть использовано для расчета теплообмена в пучках твэлов при турбулентном, ламинарном и переходном режимах течения жидких металлов.

№ 79/3502 Поступила в Редакцию 10/XI 1965 г.

## ЛИТЕРАТУРА

1. М. Х. Ибрагимов, А. В. Жуков. «Атомная энергия», 18, 630 (1965).
2. E. Spraggow, A. Loeffler, H. Hubbard. Trans. ASMS, No. 11, 415 (1961).

# Защита из камнебетона от $\gamma$ -излучения

В. Б. ДУБРОВСКИЙ, А. К. ШРЕЙБЕР,  
А. Ф. МИРЕНКОВ, В. Н. СОЛОВЬЕВ

УДК 621.039.538.7

Для защиты от  $\gamma$ -излучения различных источников (второй контур АЭС, установки для  $\gamma$ -облучения, «горячие» камеры, электронные ускорители) предлагается камнебетон.

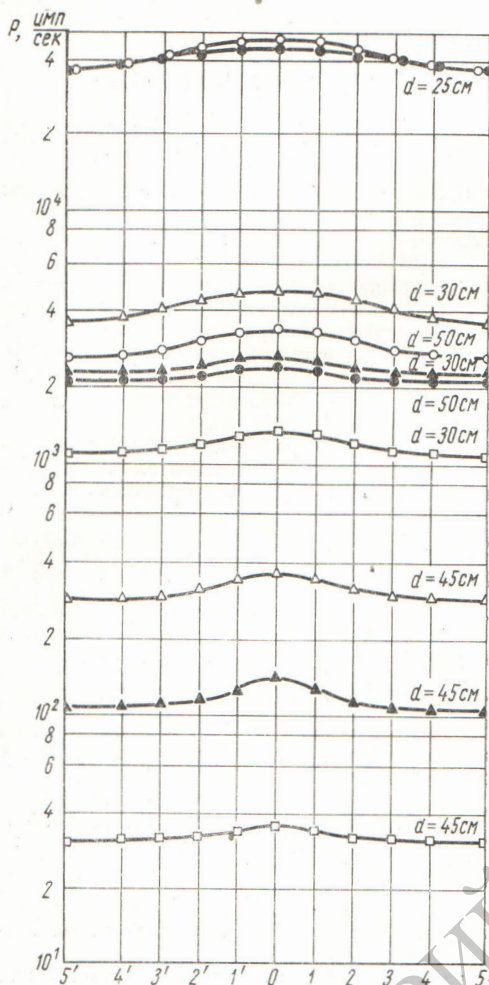
Камнебетон обладает некоторыми технико-экономическими преимуществами по сравнению с обычным бетоном и находит все большее применение в строительстве [1—4]. Получают камнебетон втапливанием камня (руды) в подстилающий слой бетонной смеси.

Для исследования защитных свойств были изготовлены блоки из бетона (объемный вес 2250, 3300, 4600 кг/м<sup>3</sup>) и камнебетона, содержащего в качестве крупной добавки известняковый камень и гематитовую руду. Объемный вес камнебетона составлял соответственно 2320, 3770, 4600 кг/м<sup>3</sup>.

Экспериментальные исследования проводились на  $\gamma$ -установке с источником  $Co^{60}$  активностью 500 г-экс Ра.

За экранами различной толщины из бетона и камнебетона  $\gamma$ -дозиметром СБМ-10 [5] регистрировалась мощность дозы  $\gamma$ -излучения (рисунок). Полученные результаты сопоставлялись с результатами теоретических расчетов, для чего вычислялись линейный коэффициент поглощения  $\mu$  по химическому составу материала и дозовый фактор накопления  $B$  по методу Гольдштейна [6] путем определения эффективного атомного номера материала  $Z_{эфф}$ .

Хорошее совпадение расчетных и экспериментальных данных, а также подобие кривых распределения мощностей доз за экранами из бетона и камнебетона свидетельствуют о высокой однородности защитных



Графики распределения мощностей доз за экранами толщиной 25, 30, 45, 50 см:

○ — бетон ( $\rho = 2250 \text{ кг/м}^3$ ); ● — камнебетон ( $\rho = 2320 \text{ кг/м}^3$ ); △ — бетон ( $\rho = 3300 \text{ кг/м}^3$ ); ▲ — камнебетон ( $\rho = 3775 \text{ кг/м}^3$ ); □ — бетон и камнебетон ( $\rho = 4600 \text{ кг/м}^3$ ). Цифры на оси абсцисс обозначают точки, в которых регистрировалась мощность дозы за блоками.

свойств материалов блоков. Таким образом, камнебетон можно считать однородной гомогенной смесью химических элементов, для которой защитные параметры от  $\gamma$ -излучения могут рассчитываться так же, как и для бетона (по химическому составу). Для экспериментальных составов бетона и камнебетона коэффициенты  $\mu$  и  $B$  рассчитаны в диапазоне энергий от 0,1 до 100 Мэв и могут быть использованы в практических расчетах защиты.

№80/3549 Поступила в Редакцию 18/XII 1965 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. С. У х о в и др. «Гидротехническое строительство», № 8, 15 (1958).

2. Н. Н. Д а н и л о в, А. К. Ш р е й б е р. Строительные конструкции из отощенного бетона. Академия строительства и архитектуры, 1959.  
 3. А. К. Ш р е й б е р и др. Исследование некоторых свойств камнебетона в полупроизводственных условиях. Информационный бюллетень № 4. Куйбышев, Оргэнергострой, 1961.  
 4. В. Б. Д у б р о в с к и й и др. «Энергетическое строительство», № 46, 29 (1964).  
 5. А. М. П а н ч е н к о «Атомная энергия», 14, 408 (1963).  
 6. Г. Г. Г о л ь д ш т е й н. Основы защиты реакторов. М., Госатомиздат, 1961.

Прохождение  $\gamma$ -излучения через швы сборных бетонных экранов

В. Б. ДУБРОВСКИЙ, Ю. С. РЯБУХИН, А. Ф. МИРЕНКОВ, В. Н. СОЛОВЬЕВ

УДК 621.039.538.7

Конструкции биологической защиты в стационарных ядерных установках выполняются, как правило, из монолитного бетона. Применение сборных элементов в конструкциях защиты в значительной мере сдерживалось недостаточной изученностью защитных свойств сборных экранов, а также отсутствием обоснованных методов расчета прохождения  $\gamma$ -излучения через экраны.

В качестве основного критерия при оценке защитной эффективности предлагается коэффициент прострела  $\epsilon$ . Он определяется как отношение либо интегральных, либо максимальных мощностей доз за сборной и монолитной защитами.

Как правило, величина коэффициента прострела излучения, определяемая по интегральной мощности дозы за экраном, меньше величины, определяемой по мощности дозы только за швом. Это положение иллюстрируется в статье двумя графиками распределения мощности дозы от коллимированного источника  $\gamma$ -излучения за сборными бетонными и монолитными экранами толщиной 75 и 100 см. Анализ характера изменения прострела  $\gamma$ -излучения через швы сборных экранов показывает, что его можно выразить тремя разными зависимостями.

Из сопоставления экспериментальных значений коэффициентов прострелов излучения через сборные экраны из обычных и тяжелых бетонов с расчетными данными, полученными по трем зависимостям, видно, что наиболее точно коэффициент прострела  $\gamma$ -излучения через швы описывается формулой

$$\epsilon = 1 + \frac{q-1}{B}$$

где  $\epsilon$  — прострел излучения, выражаемый отношением мощностей доз по шву сборного экрана к монолитному;  $q$  — отношение мощностей доз, создаваемых первичными  $\gamma$ -лучами за швом сборного и монолитного экранов;  $B$  — фактор накопления рассеянного излучения в монолитной защите.

Экспериментальные исследования сборных и монолитных экранов проводились на кобальтовом источ-