

## 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):

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

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  $Pe$  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. Sparrow, 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-экв Ra.

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