

УДК 536.24

А.В.Рукавишников, Ле Нгок Куан (5 курс, каф. КТиЭТ),
М.Е.Лебедев, а.и.п. (ОАО «НПО ЦКТИ»), к.т.н., доц.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ И ТЕПЛООБМЕНА В КАНАЛЕ ОХЛАЖДЕНИЯ ХДМ

Хранилище делящихся материалов (ХДМ) состоит из трех основных элементов:

- нижнего плenumа;
- железобетонного массива с гнездами под контейнеры;
- верхнего плenumа.

В гнезда, находящиеся в железобетонном массиве, загружаются контейнеры с делящимися материалами. Вокруг каждого гнезда имеется по четыре тяговые трубы, которые также располагаются в железобетонном массиве.

Целью работы являлись исследования в области полей скорости и температуры и определение по этим данным тепловых и гидравлических характеристик канала охлаждения, представляющего собой вертикальную открытую с обоих концов трубу диаметром 98 мм и высотой 6,63 м. Тепло, выделяемое делящимися материалами, теплопроводностью транспортируется к стенкам трубы и снимается восходящим потоком воздуха. При этом в канале реализуется смешанно-конвективное течение, определяемое работой приточно-вытяжной вентиляции и тепловым состоянием канала. Низкий уровень тепловыделения, малые скорости воздуха, соответствующие области перехода от ламинарного к турбулентному течению, значительные размеры объекта делают задачу как расчетного, так и экспериментального исследования достаточно сложной.

В опытах, помимо измерений температуры стенки канала, измерялось также распределение плотности теплового потока по высоте канала, профили скорости воздуха в четырех сечениях по высоте, профили температуры воздуха. Для этого использовалась современная измерительная и вычислительная техника.

В опытах моделировалось два вида стандартных граничных условий: $q = \text{const}$ и $t_{\text{СТ}} = \text{const}$. Первое обеспечивалось применением электрического обогрева рабочего участка, а второе - с помощью водяной рубашки, расположенной снаружи канала охлаждения.

В опытах также воспроизводились два варианта организации движения воздуха в канале: свободная (естественная) конвекция и смешанная конвекция. В последнем случае вынужденная составляющая расхода воздуха обеспечивалась вентилятором, установленным над рабочим участком, и работающим «на всас».

Кроме того, в опытах воспроизводились два варианта длины обогрева: 2,5 м и 5,0 м. В первом случае моделируется 50% загрузка ХДМ, во втором - 100% загрузка.

Опыты проводились в широком диапазоне изменения режимных параметров, включая характерные для проектных режимов работы хранилища: $Q^+ = 11,6 - 260$ Вт, $w = 0,19 - 1,52$

м/с, $Ra_q = 2,8 \cdot 10^5 - 6,8 \cdot 10^6$, $Re_r = 1000 - 4200$, где $Q^+ = 2\pi r \int_0^H q \, dh$; $Ra_q = \frac{g\beta r^4 q_{\text{об.уч}}}{\lambda \nu a}$; $Re_r = \frac{w r}{\nu}$.

Этот диапазон существенно перекрывает область проектных параметров работы ХДМ.

Это, во-первых, дало возможность использовать полученные результаты для расчета нештатных ситуаций, и, во-вторых, повысить точность экспериментальных результатов для номинальных режимов, поскольку величина проектного тепловыделения слишком мала, чтобы обеспечить требуемую точность измеряемых и расчетных величин.

Выводы. В результате экспериментов получены расчетные зависимости, позволяющие определить характеристики течения и теплообмена в канале охлаждения в условиях 50% и 100% загрузки в режимах свободной и смешанной конвекции при выполнении граничных условий постоянной температуры или постоянной плотности теплового потока на стенке.

В экспериментах выявлен ряд особенностей течения и теплообмена в канале охлаждения. Некоторые из них перечислены ниже:

- течение происходит в области ламинарно-турбулентного перехода;
- наличие загиба в верхней части канала приводит к деформации профиля скорости на выходе из канала и к увеличению его гидравлического сопротивления;

– течению присуща внутренняя не стационарность, проявляющаяся в пульсациях скорости и температуры воздуха, а также плотности теплового потока на стенке.

Предложена инженерная методика расчета скорости и температуры воздуха в канале охлаждения, получившая подтверждение при сопоставлении с результатами эксперимента.

Методика может быть использована при численном решении задачи о течении и теплообмене в хранилище типа «железобетонный массив».

Экспериментальная часть работы была выполнена на стендовой базе Лаборатории теплотехнических процессов в оборудовании АЭС Отдела исследования и проектирования оборудования АЭС, являющегося структурной единицей ОАО «НПО ЦКТИ».