

УДК 621.175 : 627.81

А.О.ТЕРТИЧНЫЙ

Харьковский государственный технический университет  
строительства и архитектуры

## РАСЧЕТ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ОБОРОТНОЙ ВОДЫ ТЭС И АЭС

Описывается методика расчета комбинированной системы охлаждения воды для ТЭС и АЭС, состоящей из воздухоохладителя-охладителя и брызгального бассейна.

Неотъемлемой частью тепловых и атомных электростанций являются охладительные системы – сооружения, предназначенные для охлаждения воды, подаваемой в конденсаторы турбин. В их состав могут входить воздухоохладитель-охладитель, брызгальные бассейны, градирни. Наиболее распространенным является воздухоохладитель-охладитель.

При повышении мощности электростанций необходимо увеличивать охлаждающую способность таких сооружений. При использовании только воздухоохладителя-охладителя для этого следует увеличить площадь его зеркала, что не всегда возможно. Можно также применять дополнительные охлаждающие сооружения (градирни, брызгальные бассейны), работающие параллельно. В последние годы широкое распространение получили комбинированные системы охлаждения, состоящие из воздухоохладителя-охладителя и брызгальных бассейнов, расположенных на его зеркале. Нами предлагается методика расчета охлаждающей способности такой системы. Расчет проводим в три этапа. На первом этапе выполняем термический расчет брызгального бассейна. Для этого используем метод теплового баланса, изложенный в работе Гельфанда [1]. Основной эмпирической характеристикой охладителя является число испарения  $K_{И}$ . Оно выводится из уравнения теплового баланса при испарительном охлаждении жидкости и имеет вид

$$K_{И} = \frac{t_1 - t_2}{0,4t_c - \frac{r_{tc}P_{tc}}{C_{ж}P_a} - 0,4\theta - \varphi \frac{r_{\theta}P_{\theta}}{C_{ж}P_a}}, \quad (1)$$

где  $C_{ж}$  – теплоемкость воды;  $t_1$  – температура горячей воды, подаваемой к брызгальным установкам;  $t_2$  – температура охлажденной воды;  $\theta$  – температура воздуха;  $\varphi$  – относительная влажность воздуха;  $P_a$  – атмосферное давление;  $r_{tc}$ ,  $r_{\theta}$  – теплота парообразования соответ-

ственно при температуре  $t_c$  и  $\theta$ ;  $P_{tc}$ ,  $P_\theta$  – давление насыщенного пара соответственно при температуре  $t_c$  и  $\theta$ ;  $t_c$  – средняя температура.

Формулу (1) преобразуем к виду

$$0,4t_c + \frac{r_{tc}P_{tc}}{C_{ж}P_a} + \frac{2t_c}{K_{И}} = 0,4\theta + \varphi \frac{r_\theta P_{tc}}{C_{ж}P_a} - \frac{2t_1}{K_{И}}. \quad (2)$$

Из этой формулы методом половинного деления отрезка находим среднюю температуру  $t_c$ , затем искомое значение  $t_2 = 2t_c - t_1$ . В результате получаем температуру воды на выходе из брызгального охладителя.

На втором этапе осуществляем расчет поля скоростей водохранилища-охладителя на основе модифицированной системы уравнений Сен-Венана в плановой постановке [2]:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial F}{\partial x} + \frac{\partial G}{\partial y} + T = 0, \quad (3)$$

где  $U$ ,  $F$ ,  $G$ ,  $T$  – векторы

$$U = \begin{bmatrix} uh \\ vh \\ h \end{bmatrix}; F = \begin{bmatrix} u^2h + g \frac{h^2}{2} \\ uvh \\ uh \end{bmatrix}; G = \begin{bmatrix} uvh \\ v^2h + g \frac{h^2}{2} \\ vh \end{bmatrix}; T = \begin{bmatrix} ghJ_{ox} - \frac{1}{\rho}(\tau_{Hx} - \tau_{0x}) \\ ghJ_{oy} - \frac{1}{\rho}(\tau_{Hy} - \tau_{0y}) \\ Q_{ist}\delta_{\Omega ist} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

$u$ ,  $v$  – осредненные по глубине компоненты скорости течения соответственно в  $X$  и  $Y$  направлениях;  $h$  – глубина;  $J_{ox}$ ,  $J_{oy}$  – уклон дна в  $X$  и  $Y$  направлениях;  $\tau_{Hx}$ ,  $\tau_{Hy}$  – составляющие силы трения на свободной поверхности;  $\tau_{0x}$ ,  $\tau_{0y}$  – составляющие силы гидравлического трения на дне;  $Q_{ist}$  – расход воды брызгального бассейна;  $\delta_{\Omega ist}$  – площадная дельта-функция, вводимая аналогично дельта-функции Дирака.

В отличие от классического уравнения, приведенного в [2], система уравнений (3), (4) имеет источниковый член  $Q_{ist}\delta_{\Omega ist}$ . Он учитывает воздействие локального источника массы воды (брызгального бассейна), расположенного на поверхности моделируемого водоема-охладителя.

Граничные условия для системы уравнений (3)-(4) общепринятые [2, 4]: на твердой границе задаются условия непротекания, на жидких

– компоненты скорости течения.

Для расчета поля скорости с помощью системы уравнений Сен-Венана (3)-(4) применен конечноразностный метод на основе схемы Лакса-Вендроффа [4].

На третьем этапе выполняем расчет поля температур водохранилища-охладителя с расположенным на его зеркале брызгальным бассейном с помощью модифицированного планового уравнения теплопроводности:

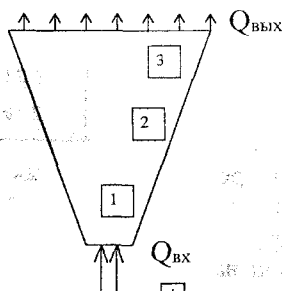
$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + u_i \frac{\partial \theta}{\partial x_i} = \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x_i} \left( h \cdot D \frac{\partial \theta}{\partial x_i} \right) + \frac{G_H}{h} + \frac{w^* (\Theta - \theta)}{h} \quad (5)$$

Здесь  $\theta = \theta(x, y)$  – расчетная температура воды в водохранилище-охладителе;  $w^*$  – вертикальная скорость на свободной поверхности водохранилища-охладителя, равная скорости поступления охлажденной воды на площади, занятой брызгальным бассейном, и нулю – за его пределами;  $w^* = Q_{ist} \cdot \delta_{\Omega_{ist}}$ ;  $\Theta$  – температура воды на выходе из брызгального модуля, определяемая по результатам расчета первого этапа;  $G_H$  – поток тепла через свободную поверхность, определяемый по методике [6].

В уравнении (7) для твердой границы принят поток тепла, равный 0. На жидких границах в зависимости от конкретных условий задается либо поток тепла, либо температура воды.

Решение уравнения теплопроводности (5) проводим методом конечных разностей и методом установления. Для аппроксимации членов, содержащих первые производные, использована схема с разностями против потока, вторые – центральная разностная схема [4].

Для иллюстрации предложенного метода было взято водохранилище-охладитель конической формы длиной около 5 км, шириной на входе 0,8 км и на выходе – 4,7 км с расположенным на его зеркале брызгальным бассейном. Исследовали различные расположения и расходы брызгального бассейна (рисунок):



Условные обозначения:  $\square$  – расположение брызгального бассейна,  $i$  – вариант

Результаты расчета по приведенной методике можно представить в виде безразмерного параметра – коэффициента эффективности водохранилища, аналогичного коэффициенту эффективности системы  $K_{эф}$ , описанному в [6]. Предлагаемый коэффициент определяем из соотношения

$$K_{эф}^* = \frac{\Omega_{усл}}{\Omega_{ВО}}, \quad (6)$$

где  $\Omega_{усл}$  – площадь водохранилища-охладителя, обеспечивающего такую же степень охлаждения циркуляционной воды, как и рассматриваемая система и имеющего такую же форму;  $\Omega_{ВО}$  – площадь водохранилища-охладителя.

Этот коэффициент показывает, во сколько раз необходимо увеличить площадь водохранилища-охладителя, чтобы его охлаждающая способность была равна эффективности охлаждения комбинированной системы охлаждения.

Возможные варианты места расположения брызгального охладителя выбраны недалеко от берега (см. рисунок). В таблице приведены результаты расчетов коэффициента эффективности  $K_{эф}^*$  при суммарном расходе системы  $200 \text{ м}^3/\text{с}$  и различных расходах брызгального бассейна.

$Q_{66}$ , $\text{м}^3/\text{с}$	Номер варианта		
	N1	N2	N3
0	1	1	1
25	1,40	1,43	1,41
50	1,82	1,80	1,69
75	2,22	2,17	2,03
100	2,59	2,49	2,32

Из трех рассмотренных вариантов наилучшим расположением брызгального бассейна является позиция №1, а наихудшим – позиция №3. Эффективность системы растет с увеличением расхода воды, подаваемой на брызгальный охладитель. Однако следует заметить, что увеличение расхода воды, подаваемой на брызгальный охладитель, связано с ростом капитальных и эксплуатационных затрат брызгального бассейна: с одной стороны, увеличивается охлаждающая способ-

ность такой системы, с другой – происходит ее удорожание. Поэтому следует выбрать оптимальный вариант системы водохранилище-охладитель - брызгальный бассейн, который удовлетворял бы гидро-термическим и экономическим требованиям.

Предлагаемый метод позволяет определить охлаждающую способность системы водохранилище-охладитель - брызгальный бассейн, расположенный на его акватории. Преимуществами такой системы охлаждения являются повышение охлаждающей способности при сохранении площади водохранилища-охладителя. Кроме этого влияние брызгального бассейна может привести к ослаблению водоворотных зон, появлению вынужденных течений в застойных зонах водохранилища. С помощью этого метода можно исследовать различные варианты компоновки системы, определить ее наилучшую конфигурацию и расходные характеристики.

1. Гельфанд Р.Е. Метод теплового расчета брызгальных установок с использованием числа испарения // Изв. ВНИИГ им. Б.В.Веденеева. – 1980. – Т.143. – С. 38-43.
2. Шеренков И.А. Прикладные плановые задачи гидравлики спокойных потоков. - М.: Энергия, 1978. – 240 с.
3. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: Наука, 1978. – 736 с.
4. Роуч П. Вычислительная гидродинамика. – М.: Мир, 1980. – 616 с.
5. Лавриненко Л.И. Моделирование распространения тепла и загрязняющих веществ в мелководных водоемах при установившемся движении // Гидравлика и гидротехника: Респ. межвед. науч.-техн. сб. Вып.32. – К., 1981. – С. 37-43.
6. Методические рекомендации к расчету водохранилищ-охладителей ТЭС (П 33-75). – Л., 1976. – 56 с.

Получено 18.01.2002

УДК 65.016

О.Ю.ПОПОВ

*Київський національний університет ім.Т.Г.Шевченка*

### **ВИЗНАЧЕННЯ ПРІОРИТЕТІВ У СКЛАДІ МУЛЬТИПРОЕКТУ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПІДПРИЄМСТВ ВОДОПРОВІДНО-КАНАЛІЗАЦІЙНОЇ ГАЛУЗІ**

Пропонується методика ранжування інвестиційних проектів модернізації підприємств водопровідно-каналізаційного господарства.

У зв'язку з гострими проблемами, що мають місце в галузі водопостачання та каналізації України, існує нагальна потреба підвищення надійності водопостачання та водовідведення, якості надаваних послуг, поліпшення матеріально-технічної бази підприємств галузі. Аналіз роботи АК "Київводоканал", здійснений провідними іноземними й вітчизняними фахівцями [1], свідчить, що з цією метою треба здійсню-