



УДК 621.187.16

К РАСЧЕТУ ВОДНО-ХИМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ОБОРОТНЫХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ С ИСПАРИТЕЛЬНЫМИ ОХЛАДИТЕЛЯМИ

Е. В. Кишнеvский, В. А. Кишнеvский, В. В. Чиченин
 Одесский национальный политехнический университет, г.Одесса.
 e-mail: twf61@yandex.ru

Изложен новый метод расчета водно-химического режима оборотных систем охлаждения с испарительными охладителями (градирнями). Показано, что существующие методы расчета ВХР допускают ошибку более 7%.

Ключевые слова: охлаждение, градирни, водно-химический режим, оборотные системы охлаждения.

Введение

При расчетах водно-химических режимов (ВХР) оборотных систем охлаждения (ОСО) крупных энергетических объектов с испарительными охладителями (градирнями) рассматривают пять основных потоков теплоносителя (рис. 1) [1,2]:

- G_0 - расход циркуляционной воды конденсатора, кг/с;
- G_1 - расход воды на выпаривание в градирне, кг/с;
- G_2 - расход воды на капельный унос в градирне, кг/с;
- G_3 - расход воды на постоянную продувку ОСО, кг/с;
- G_n - расход пара, поступающего в конденсатор, кг/с;
- G_d - расход добавочной воды, кг/с.

Соотношение между потоками можно представить в следующем виде:

$$G_1 = x_1 G_0, G_2 = x_2 G_0, G_3 = x_3 G_0, G_d = G_1 + G_2 + G_3 \tag{1}$$

где x_1, x_2, x_3 доля соответствующих потерь относительно расхода циркуляционной воды

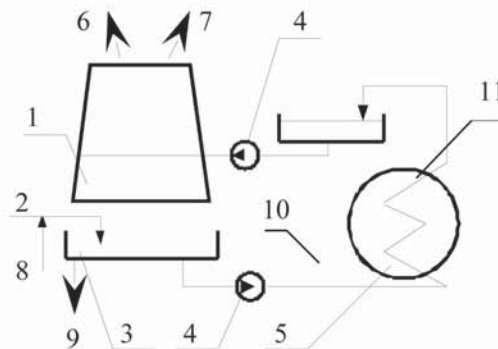


Рис. 1 Схема оборотной системы охлаждения с градирней.

- | | |
|-----------------------------|---|
| 1 — градирня, | 7 — капельный унос (G_2), |
| 2 — добавочная вода G_d , | 8 — реагенты, |
| 3 — приемок градирни, | 9 — продувка (G_3) |
| 4 — насосы, | 10 — циркуляционная вода (G_0) |
| 5 — конденсатор, | 11 — конденсируемый водяной пар (G_n) |
| 6 — выпар (G_1), | |





Очевидно, что G_n и G_0 , являются функциями тепловой мощности N турбоагрегата, МВт. В то же время, величины потерь системы G_1 , G_2 и G_3 зависят от параметров градирни, физических свойств атмосферы (температуры T_a , влажности воздуха d) и физико-химических характеристик циркуляционной воды (температуры T_r , рН, солесодержания CC и т.др.) из которых CC циркулирующей воды определяет величину коэффициента упаривания (K_y) ВХР ОСО.

Представим величины указанных расходов потерь циркуляционной воды в безразмерном виде:

$$P_1 = \frac{G_1}{G_0} 100\%, \quad P_2 = \frac{G_2}{G_0} 100\%, \quad P_3 = \frac{G_3}{G_0} 100\%,$$

тогда коэффициент упаривания:

$$K_y = \frac{G_d}{G_2 + G_3} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{P_2 + P_3} = \frac{P_1}{P_2 + P_3} + 1 \quad (2)$$

Материально-энергетический баланс ОСО

При исходной концентрации $i^{\text{ой}}$ соли в добавочной воде ($C_{дi}$, мг/дм³) значение концентрации этой же соли в циркуляционной воде (C_i , мг/дм³) выразится как:

$$C_i = C_{дi} K_y = C_{дi} \left(\frac{P_1}{P_2 + P_3} + 1 \right) < [C_i]_{\text{max}}, \quad (3)$$

где $[C_i]_{\text{max}}$ предельно допустимая концентрация $i^{\text{ой}}$ соли в циркуляционной воде.

Полное уравнение теплового баланса ОСО имеет вид:

$$Q_k + Q_d = Q_{ку} + Q_{вып} + Q_{пр}, \quad (4)$$

Величинами теплот, привносимых с добавочной водой, уносимых с капельным уносом и продувкой, обычно пренебрегают в силу их малости в сравнении с теплотой, вносимой в конденсаторе и уносимой с выпариваемой водой.

На основании указанных допущений обычно принимают $Q_k = Q_{вып}$, более того в [3-5] для расчетов принимают равенства значения $\zeta_{вып} = \zeta_k$.

На основе принятого равенства тепловых потоков, отводимых в конденсаторе Q_k и градирне $Q_{вып}$:

$$G_n \chi_k \zeta_k = G_1 \chi_r \zeta_{вып}, \quad (\chi_r \approx 1), \quad (5)$$

где $\zeta_k, \zeta_{вып}$ - значения величин теплоты конденсации и парообразования, соответственно, в конденсаторе и в градирне, кДж/кг;

χ_k, χ_r - степень сухости пара, т.е. отношение массы пара к сумме масс теплоносителя в газовом и жидком состояниях, соответственно, в конденсаторе и в градирне.

$$Q_d = G_d h_d \ll Q_k \quad Q_{ку} = G_2 h_{ку} \ll Q_k \quad Q_{пр} = G_3 h_{пр} \ll Q_k$$

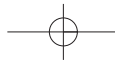
При условии низкого влагосодержания охлаждающего воздуха в зоне выпаривания ($\chi_r \approx 1$):

$$d_d = d_{ат} + \frac{(G_1)_n}{G_b} \rho_b < [d], \quad [d] = \gamma(t_{ат}, P_{ат}), \quad (6)$$

где, $d_d, d_{ат}$ [d] - абсолютное влагосодержание воздуха, соответственно, в зоне выпаривания, атмосфере и предельное допустимое значение, кг/м³;

$(G_1)_n, G_b$ - массовый расход, соответственно, выпариваемой воды (кг/с) и охлаждающего воздуха (кг/с) с плотностью $\rho_{воздуха}$ (кг/м³).





При $d_{ат} \ll [d]$ условие (6) может быть выполнено только при или $T_{H_2O} > T_{ат}$, когда пограничный слой у поверхности охлаждаемая вода/охлаждающий воздух достаточно сильно прогревается. Если же $T_{H_2O} \cong T_{ат}$, то охлаждение осуществляется только за счет конвекции.

На основании экспериментальных данных, полученных нами в модельных экспериментах и при промышленных испытаниях, установлено [3-5], что принимаемое для расчетов ВХР равенство (5) привносит значительную ошибку между расчетными и реальными значениями основных параметров ВХР ОСО. Действительно, из сравнения значений ζ_j и $\chi_j, j=k, \gamma$ следует $\zeta_k \neq \zeta_{\gamma}$ и $\chi_k \neq \chi_{\gamma}$, и тогда значения $Q_k \neq Q_{вып}$, причем это различие составляет 7% и более.

Так, например, для условий работы турбоустановки К1000-60/1500 с конденсатором К-33160 (при номинальном давлении пара в конденсаторе 3,92 Па и атмосферном давлении в градирне) $\zeta_{вып} = 2433,1$ кДж/кг, $\zeta_k = 2256,5$ кДж/кг и разница значений $\zeta_{вып}$ и ζ_k составит 176,6 кДж/кг или 7,25%.

Расчет ВХР ОСО

На основании вышеизложенного, нами разработан уточненный расчет, позволяющий учесть различия теплофизических характеристик конденсируемого пара в конденсаторе и генерируемого пара в градирне.

Методологическая основа расчета сводится к следующему:

Из уравнения (5) получаем:

$$G_1 = G_n \frac{\chi_k \zeta_k}{\chi_{\gamma} \zeta_{вып}}, \text{ где } \chi_{\gamma} = 1. \tag{7}$$

Вводим новые переменные, характеризующие потери ОСО, отнесенные к тепловой мощности конденсатора:

$$\Pi_1 = \frac{G_1}{Q_k}, \quad \Pi_2 = \frac{G_2}{Q_k}, \quad \Pi_3 = \frac{G_3}{Q_k}, \quad \frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{кВт}}. \tag{8}$$

Тогда значение K_y принимает вид:

$$K_y = \frac{\Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_3}{\Pi_2 + \Pi_3}, \tag{9}$$

а значение Π_1 , с учетом уравнений (2) и (5) можно определить как:

$$\Pi_1 = \frac{G_1}{G_n \chi_k \zeta_k} \tag{10}$$

Подставив (7) в (10) получаем:

$$\Pi_1 = \frac{1}{\zeta_{вып}}, \quad \frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{кВт}}. \tag{11}$$

Полученное значение характеризует теоретически необходимую массу выпариваемой в единицу времени воды на каждый киловатт вырабатываемой мощности. Эта величина составляет 0,4432 (кг/с/кВт), при атмосферном давлении и $\chi_k = 1$.



Указанная методика представлена в виде номограммы для выбора эффективного ВХР в схемах ОСО крупных энергоемких предприятий для широкого класса вод наземных и подземных горизонтов на территории Украины.

Образец номограммы выбора ВХР ОСО представлен на рис.2.

На основании изложенного, с учетом теплофизических свойств циркуляционной воды и конденсирующегося пара предлагается простой алгоритм построения номограмм, которые позволят выбрать эффективный ВХР различных схем ОСО энергоустановок для широкого класса вод Украины.

Алгоритм расчета ВХР ОСО с использованием номограммы (рис. 2):

1. В третьем квадранте задаемся величинами Π_2 и Π_3 (0,1 для данного примера).
2. Из третьего квадранта номограммы проводим линию во второй квадрант для определения K_y ($K_y = 3,1$).
3. Во втором квадранте выбираем величину предельной щелочности циркулирующей в системе воды ($\text{Щ}_{\text{осо}}^{\text{пр}} = 6,2 \text{ мг-экв/дм}^3$).
4. Из второго квадранта номограммы перейдем в первую, определив допустимую величину щелочности добавочной воды ($\text{Щ}_{\text{д.в.}} = 2,0 \text{ мг-экв/дм}^3$).
5. Продолжим горизонтальную линию в первом квадранте до пересечения с линией концентрации щелочности исходной воды ($\text{Щ}_{\text{исх}} = 2,2 \text{ мг-экв/дм}^3$).
6. Определим необходимую дозу кислоты ($D_{\text{к-ты}} = 0,2 \text{ мг-экв/дм}^3$).
7. Аналогично можно рассчитать концентрации других ионов, например SO_4^{2-} .

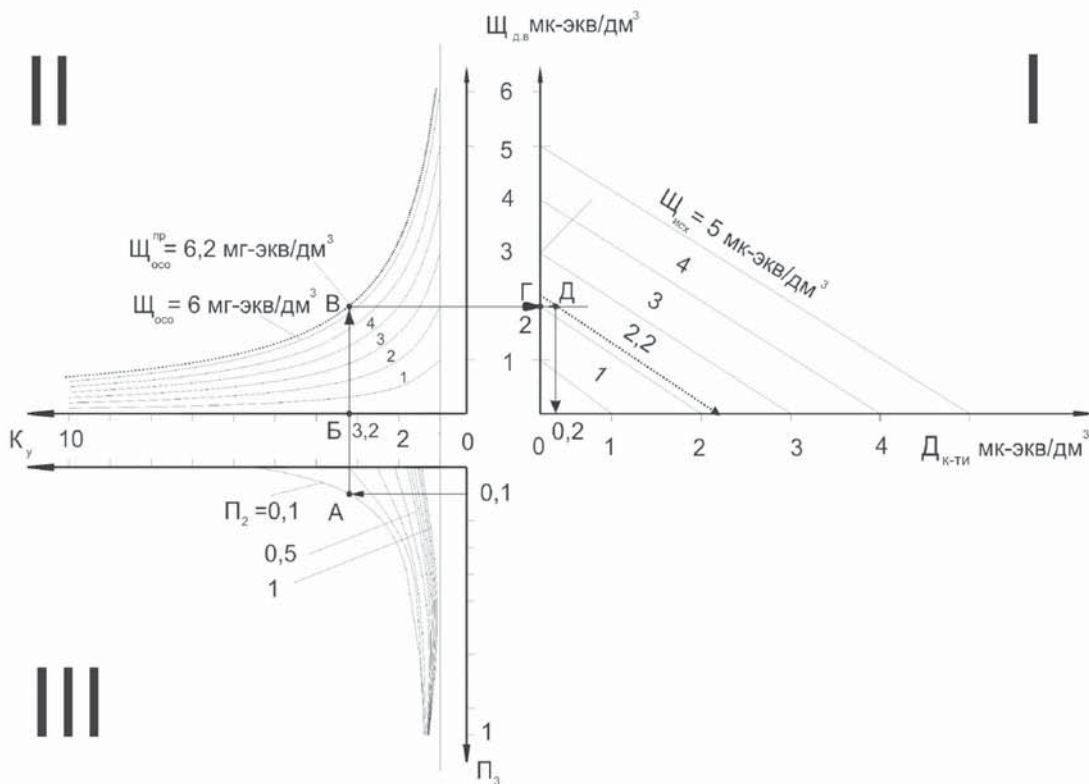


Рис 2. Номограмма выбора ВХР ОСО.

Выводы:

Разработана методика расчета ВХР ОСО, которая учитывает разницу в теплоте парообразования теплоносителей в конденсаторе и градирне при фазовых переходах. Разработан алгоритм объективного расчета ВХР ОСО, который имеет практическое значение для эксплуатационного персонала ТЭС и АЭС и дает возможность оперативно влиять на ВХР ОСО.

**ДО РОЗРАХУНКУ ВОДНО-ХІМІЧНИХ РЕЖИМІВ ОБОРОТНИХ СИСТЕМ
ОХОЛОДЖЕННЯ З ВИПАРОВУВАЛЬНИМИ ОХОЛОДЖУВАЧАМИ**

Є. В. Кишневський, В. О. Кишневський, В. В. Чиченин

Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса

e-mail: twf61@yandex.ru

Викладено метод прогнозування сольового складу зворотних систем охолодження з випарувальними охолоджувачами (градирнями). Показано, що при використанні існуючих методів розрахунку і прогнозування похибка може складати 7% та більше.

Ключові слова: охолодження, градирня, водно-хімічний режим, зворотні системи охолодження.

**CALCULATIONS OF WATER-CHEMICAL MODES FOR CIRCULATING COOLING
SYSTEMS WITH THE WATER COOLING TOWERS**

E. Kishnevskiy, V. Kishnevskiy, V. Chichenin

National polytechnic university of Odessa

e-mail: twf61@yandex.ru

Prognostication method of circulating cooling systems with the cooling towers salt composition is expounded. Presence of error (7% and more), when using existent calculation and prognostication methods, is shown.

Keywords: cooling, cooling tower, water-chemical mode, circulating systems of cooling.

Список литературы:

1. Маргулова Т. Х. Атомные электрические станции: учебник для вузов. -3-е изд., — М. : Высшая школа, 1978. — 360 с.
2. Кишневский В. А. Технологии подготовки воды в энергетике: учебник. — О. : Феникс, 2008. — 400 с.
3. Руководящие указания по стабилизационной обработке охлаждающей воды в оборотных системах охлаждения с градирнями оксиэтилидендифосфоновой кислотой. — М. : Союзтехэнерго., 1981. — 20 с.
4. Методические указания по прогнозированию химического состава и накипиобразующих свойств охлаждающей воды электростанций. — М. : Союзтехэнерго., 1989. — 39 с.
5. Методические указания по водно-химическому режиму бессточной системы охлаждения. . — М. : Союзтехэнерго., 1985. — 50 с.