

## DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL OF THE WATER-CHEMICAL REGIME OF RECOVERED WATER OF THE TPP

Isakhodzhaev Khairulla, Norbutaev Umid, Azizova Gulnoza  
Tashkent State Technical University

**Abstract:** In the article, based on the results of calculating the concentration of carbon dioxide, ions, , , indicator and experimental dependence, the specific gravity and thickness of deposits on the heat exchange tubes of the condenser predicted over a period of time are calculated.

**Key words:** water chemistry, circulating water systems, circulation pump, coagulant

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛЬ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ОБОРОТНЫХ ВОД ТЭС

Исаходжаев Хайрулла, Норбутаев Умид, Азизова Гулноза  
Ташкентский государственный технический университет

**Аннотация:** В статье на основании результатов расчета концентрации углекислоты  $CO_2$ , ионов  $HCO_3^-$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $OH^-$ , показателя  $pH$  и экспериментальной зависимости  $j_{omi} = f(\lambda_{Ca})$  рассчитывается прогнозируемая за отрезок времени удельная масса и толщина отложений на теплообменных трубках конденсатора.

**Ключевые слова:** водно-химический режим, систем оборотных вод, циркуляционный насос, коагулянт

Перспективным направлением методов совершенствования водно-химического режима (ВХР) оборотных систем охлаждения ТЭС является введение ингибиторов отложений накипеобразователей и использование комплексных оборотных систем охлаждения с включением в систему установок кондиционирования добавочной и циркуляционной вод, со структурными изменениями и минимизацией сбросов продувок в окружающую среду и обоснование методов расчета ВХР комплексной оборотной системы охлаждения (КОСО) с долгосрочным прогнозированием результатов их эффективной эксплуатации [1÷3].

В работе на примере разомкнутой КОСО с рециркуляционной очисткой части продувки на предвключенной ВПУ и продувками осветлителя и циркуляционного контура (рис. 1) с подпиткой речной водой показана методика расчета водно-химического режима системы с прогнозируемой толщиной отложений за выбранный отрезок времени.

При направлении части продувки  $P_3'$  на осветлители необходимо исследовать соблюдение граничных условий растворимости солей  $Mg(OH)_2$  и  $CaSO_4^{2-}$  в процессе известкования и упаривания в цикле КОСО. Выпадение этих солей из раствора в процессе известкования речной воды в смеси с добавком циркуляционной возможно для рассматриваемой схемы.

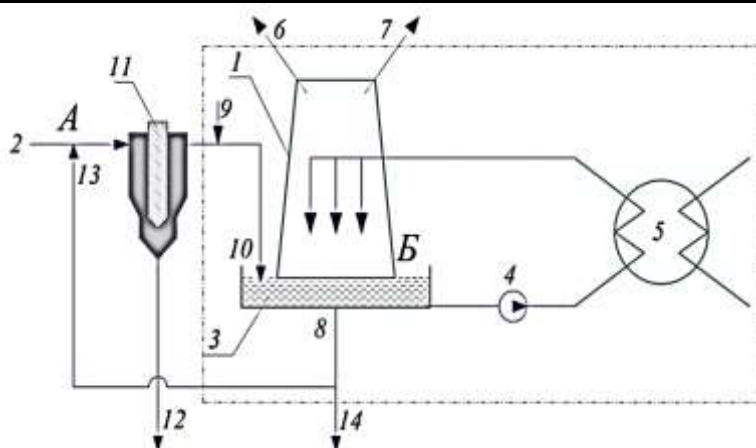


Рис. 1. Схема ВХР разомкнутой КОСО с рециркуляционной очисткой части циркуляционной воды на предвключенной ВПУ и организованными продувками циркуляционного контура и осветлителя: 1 – градирня, 2 – добавочная вода, 3 – приемок градирни, 4 – насос, 5 – конденсатор, 6 – удельные потери воды на испарение  $P_1$ , 7 – удельные потери воды с капельным уносом  $P_2$ , 8 – удельные потери воды на продувку  $P_3$ , 9 – ввод реагентов, 10 – кондиционированная вода, 11 – осветлитель, 12 – сброс продувки осветлителя  $P_{осв}$ , 13 – отбор части продувки КОСО на известкование  $P_3'$ , 14 – сброс продувки  $P_3''$ .

На первом этапе расчета рассматривается материальный баланс потоков системы и их соотношения, и оцениваются удельные величины:

$$P = P_1 + P_2 + P_3'' + P_{осв}, \quad (1)$$

$$P = P_3' + P_3'' \quad (2)$$

где  $P_3' = \gamma \cdot P_3$ ,  $P_3'' = (1 - \gamma) \cdot P_3$ ,  $\gamma$  – доля рециркуляции продувки,  $(1 - \gamma)$  – доля сброса продувки,  $P_{осв} = (P + P_3') \cdot \gamma_{осв}$ ,  $\gamma_{осв}$  – доля продувки осветлителя.

Тогда из (1) и (2):

$$P_{осв} = (P_1 + P_2 + P_3'' + P_{осв} + P_3') \cdot \gamma_{осв} \quad (4)$$

или

$$P_{осв} = \frac{\gamma_{осв}}{(1 - \gamma)} (P_1 + P_2 + P_3). \quad (5)$$

С учетом (5) и (1) получим:

$$P = P_1 + P_2 + (1 - \gamma) \cdot P_3 + \frac{\gamma_{осв}}{(1 - \gamma)} (P_1 + P_2 + P_3). \quad (6)$$

Отсюда:

$$P = \frac{\gamma_{осв}}{(1 - \gamma)} (P_1 + P_2 + P_3) - \gamma \cdot P_3. \quad (7)$$

Величина  $K_y$  ВХР КОСО определяется как соотношение ионов  $[Na^+]$ ,  $[Cl^-]$  в добавочной воде и циркуляционной воде. В связи с тем, что ионы натрия и хлорид-ионы при рециркуляции всегда проходят осветлитель транзитом, а ионы  $[Mg^{2+}]$  и  $[SO_4^{2-}]$  – только при некоторых режимах, материально-солевой баланс в первом приближении составляется для схемы, ограниченной пунктиром в точке Б (рис. 1).

Материально-солевой баланс системы, ограниченной пунктирной линией, составляется для определения концентраций ионов  $[Na^+]$ ,  $[Cl^-]$  а также  $[Mg^{2+}]$  и  $[SO_4^{2-}]$  – в граничных условиях растворимости дигидрата магния и сульфата кальция:

$$P \cdot [i]^{вх} = P_1 \cdot 0 + P_2 \cdot [i]^{осв} + P_{осв} \cdot [i]^{вх} + P_3'' \cdot [i]^{осв}. \quad (8)$$

Так как для этих примесей  $[i]^{изв} = [i]^{см}$ :

$$P \cdot [i]^{ucx} = P_1 \cdot 0 + P_2 \cdot [i]^{oco} + P_{ocв} \cdot \frac{P \cdot [i]^{ucx} + P_3' \cdot [i]^{oco}}{P + P_3'} + P_3'' \cdot [i]^{oco}. \quad (9)$$

Отсюда:

$$P \cdot [i]^{ucx} = \frac{P_{ocв} \cdot P [i]^{ucx}}{P + P_3'} + \frac{P_{ocв} \cdot P_3' [i]^{oco}}{P + P_3'} + P_2 \cdot [i]^{oco} + P_3'' \cdot [i]^{oco}. \quad (10)$$

Следовательно:

$$[i]^{oco} = [i]^{ucx} \cdot \frac{P - P \cdot \frac{P_{ocв}}{P + P_3'}}{\frac{P_{ocв} + P_3'}{P + P_3'} + P_2 + P_3''} \quad (11)$$

$$K_y = \frac{P - P \cdot \frac{P_{ocв}}{P + P_3'}}{\frac{P_{ocв} + P_3'}{P + P_3'} + P_2 + P_3''}. \quad (12)$$

Материально-солевой баланс удельных величин добавочной воды  $P$  и рециркуляции продувки  $P_3'$ , а также их соледержания в точке смешения  $A$  выразится следующим образом:

$$(P + P_3') \cdot [i]^{см} = P \cdot [i]^{ucx} + P_3' \cdot [i]^{oco}. \quad (13)$$

Тогда для отдельно взятого иона:

$$[i]^{см} = \frac{P \cdot [i]^{ucx} + P_3' \cdot [i]^{oco}}{P + P_3'}. \quad (14)$$

Если учесть, что концентрации ионов  $[Na^+]$ ,  $[Cl^-]$ ,  $[Mg^{2+}]$ ,  $[SO_4^{2-}]$  на входе и выходе из осветлителя остаются неизменными, то:

$$[Na^+]^{см} = [Na^+]^{изв}, [Cl^-]^{см} = [Cl^-]^{изв}, [Mg^{2+}]^{см} = [Mg^{2+}]^{изв}, [SO_4^{2-}]^{см} = [SO_4^{2-}]^{изв}. \quad (15)$$

Концентрации ионов  $[HCO_3^-]$ ,  $[CO_3^{2-}]$ ,  $[OH^-]$  в процессе умягчения контролируются заданным режимом известкования. Концентрацию ионов  $[Ca^{2+}]$  в умягченной воде с учетом (11), (13) и (14) можно определить на основании закона электронейтральности:

$$[Ca^{2+}] = \sum An - [Mg^{2+}]^{изв} - [Na^+]^{изв} \quad (16)$$

$[Щ_о]^{oco}$  рассчитывается по

$$[i]^{oco} = [i]^{изв} \cdot K_y \quad (17)$$

Затем в циркуляционной воде рассчитываются концентрации ионов  $[Na^+]$ ,  $[Cl^-]$ ,  $[Mg^{2+}]$ ,  $[SO_4^{2-}]$ , для чего рассматривается материально-солевой баланс системы, ограниченной штрихпунктирной линией (точка Б):

$$(P + P_3' - P_{ocв}) \cdot [i]^{изв} = P_1 \cdot 0 + P_2 \cdot [i]^{oco} + P_3 \cdot [i]^{oco} \quad (18)$$

На основании (17) получим уравнение для определения концентраций отдельных ионов для различных ВХР:

$$[i]^{oco} = [i]^{изв} \cdot \frac{P + P_3' - P_{ocв}}{P_2 + P_3}, \quad (19)$$

$$K_y = \frac{P + P_3' - P_{ocв}}{P_2 + P_3}. \quad (20)$$

Достоверность расчетов подтверждается равенством концентрации  $[Na^+]$  и  $[Cl^-]$ , рассчитанным по (19) и (11).

По уравнению (21), полученному на основании системных лабораторных исследований, а также промышленных испытаниях для различных классов вод рассчитывается скорость отложений, которую можно интерпретировать в величины удельной массы отложений (22) и толщин отложений (23):

$$|j_{oml}|_s^{oco} = A \cdot \mathcal{K}_{Ca}, \quad (21)$$

где  $A$  – коэффициент зависящий от дозы ингибитора отложений.

Удельная масса отложений  $|m_{oml}|^{oco} \left( \frac{г}{м^2} \right)$ , на теплообменной поверхности конденсаторов за отрезок время  $\tau$  (час), рассчитывается по формуле:

$$|m_{oml}|^{oco} = |j_{oml}|_s^{oco} \cdot \tau, \quad (22)$$

Толщина  $\sigma_s$  (метр),  $(\rho_{CaCO_3} = 1600 \frac{кг}{м^3})$  рассчитывается по формуле:

$$\sigma_s = \frac{|m_{oml}|^{oco}}{\rho_{CaCO_3}} \quad (23)$$

Полученные расчетные данные соответственно трансформируются в графические зависимости реальных значений массы  $|m_{oml}|^{oco}$  (рис. 2) в зависимости от продувки ( $P_3$ ) и качества кондиционирования добавочной воды ( $\mathcal{W}_O$ ).

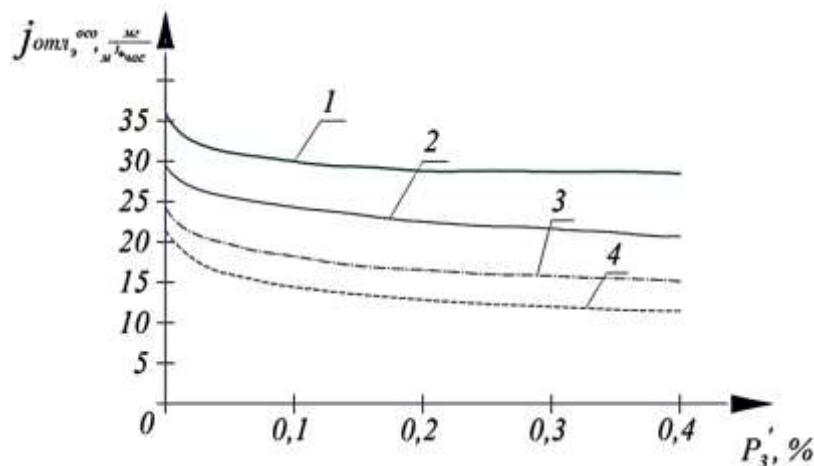


Рис. 2. Зависимость скорости отложения от величины продувки для различного качества добавочной воды: 1 –  $\mathcal{W}_O = 2 \frac{мг-экв}{дм^3}$ , 2 –  $\mathcal{W}_O = 1,5 \frac{мг-экв}{дм^3}$ , 3 –  $\mathcal{W}_O = 1 \frac{мг-экв}{дм^3}$ , 4 –  $\mathcal{W}_O = 0,7 \frac{мг-экв}{дм^3}$

Приведенная методика расчета может быть использована в качестве теоретического обоснования при разработке новых нормативных документов для ведения ВХР КОСО с прогнозируемыми результатами долгосрочной эффективной эксплуатации.

## Литература

1. Терентьев, В. И. Выбор оптимального водно-химического режима работы водооборотных систем охлаждения с градирнями / В. И. Терентьев, С. В. Караван // Энергосбережение и водоподготовка. – 2007. – № 3. – С. 20– 22.
2. Кишнеvский, В. А. К расчету водно-химических режимов оборотных систем охлаждения с испарительными охладителями / В. А. Кишнеvский, Е. В. Кишнеvский, В. В. Чиченин // Вода и водоочистные технологии. Научно-технические вест. – 2011. – №2(4). – С. 59–63.