

ЕНЕРГЕТИКА
ТЕПЛОТЕХНІКА
ЕЛЕКТРОТЕХНІКА
ENERGETICS
HEAT ENGINEERING
ELECTRICAL ENGINEERING

УДК 621.182.11.001.57

В.А. Кишневский, д-р техн. наук, проф.,
В.В. Чиченин, канд. техн. наук, доц.,
В.Г. Ахрамеев, специалист,
Одес. нац. политехн. ун-т

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБОРОТНЫХ СИСТЕМ
ОХЛАЖДЕНИЯ С РЕЦИРКУЛЯЦИЕЙ ЧАСТИ ПРОДУВОК
НА ПРЕДВКЛЮЧЕННЫЙ ОСВЕТИТЕЛЬ**

В.П. Кишневський, В.В. Чиченін, В.Г. Ахрамеев. Математична модель оборотних систем охолодження з рециркуляцією частини продувок на попередньо включений освітлювач. Показано, що при використанні методу рециркуляції продувочної циркуляційної води контура оборотних систем охолодження, що полягає в подачі частки продувки на вхід передвключеного освітлювача. При заданому значенні коефіцієнта упарювання скорочуються обсяги мінералізованих скидів у навколишнє середовище і обсяги забору вихідної води.

Ключові слова: рециркуляція, продувка, освітлювач, коефіцієнт упарювання.

В.А. Кишневский, В.В. Чиченин, В.Г. Ахрамеев. Математическая модель оборотных систем охлаждения с рециркуляцией части продувок на предвключенный осветитель. Показано, что при использовании метода рециркуляции продуваемой циркуляционной воды контура оборотных систем охлаждения, заключающегося в подаче доли продувки на вход предвключенного осветителя. При заданном значении коэффициента упаривания сокращаются объемы минерализованных сбросов в окружающую среду и объемы забора исходной воды.

Ключевые слова: рециркуляция, продувка, осветитель, коэффициент упаривания.

V.A. Kishnevsky, V.V. Chichenin, V.G. Ahrameev. Mathematical model of circulating cooling systems with purges part recirculation on the preincluded clarifier. It is shown that when using the recycled blown circulating water loop circulating cooling systems method, consisting in applying the proportion of purging the input upstream clarifier at a given evaporation rate, reduced are the volume of saline discharges to the environment and the amount of raw water intake.

Keywords: recycling, scavenging, clarifier, the rate of evaporation.

Основным контролируемым показателем водно-химических режимов (ВХР) оборотных систем охлаждения (ОСО), которые существенно влияют на их эффективность, являются каче-

$\gamma = 0,03 \dots 0,05$ — доля продувки осветлителя,
и в точке смешения на входе в осветлитель

$$V_{\text{вх}}^0 [\text{Cl}^-]_{\text{вх}}^0 + \alpha V_3 [\text{Cl}^-]_0 + \gamma \beta V_{\text{вх}0} [\text{Cl}^-]_{\text{вх}0} = V_{\text{вх}0} [\text{Cl}^-]_{\text{вх}0}, \quad (2)$$

где $\gamma = V_{\text{н}0} (V_{\text{вх}0})^{-1} = 0,03 \dots 0,05$ — доля продувки осветлителя.

Подставляем уравнение (2) в (1) и получаем после незначительных преобразований

$$(1 - k_1) V_{\text{вх}}^0 = (k_2 V_3 + V_2) K_y, \quad (3)$$

где k_1 и k_2 — зависимые от α , β и γ коэффициенты;

K_y — коэффициент упаривания,

$$k_1 = \gamma(1 - \beta)(1 - \gamma\beta)^{-1}, \quad (4)$$

$$k_2 = 1 + (k_1 - 1)\alpha, \quad (5)$$

$$K_y = [\text{Cl}^-]_0 ([\text{Cl}^-]_{\text{вх}}^0)^{-1}. \quad (6)$$

При аналогичных преобразованиях для варианта Б получаем

$$V_{\text{вх}}^0 [\text{Cl}^-]_{\text{вх}}^0 = V_2 [\text{Cl}^-]_0 + (1 - \alpha) V_3 [\text{Cl}^-]_0 + \gamma(1 - \beta) V_{\text{вх}0} [\text{Cl}^-]_{\text{вх}0}, \quad (7)$$

$$V_{\text{вх}}^0 [\text{Cl}^-]_{\text{вх}}^0 + \alpha V_3 [\text{Cl}^-]_0 = V_{\text{вх}0} [\text{Cl}^-]_{\text{вх}0}, \quad (8)$$

$$(1 - k_3) V_{\text{вх}}^0 = (k_4 V_3 + V_2) K_y, \quad (9)$$

$$k_3 = \gamma(1 - \beta) = k_1(1 - \gamma\beta), \quad (10)$$

$$k_4 = 1 + (k_3 - 1)\alpha. \quad (11)$$

Из представленного в табл. 1 диапазона изменений коэффициентов k_1 , k_2 , k_3 , k_4 и k_5 от изменения доли рециркуляции продувки осветлителя следует, что их изменения во всем диапазоне существования β незначительны и одинаковы при предельных значениях доли продувки осветлителя. Поэтому в дальнейшем, при любом значении β величины $k_1 = k_3 = 0$ и $k_2 = k_4 = (1 - \alpha)$ можно рассматривать как константы.

Таблица 1

Диапазон изменений коэффициентов k_1 , k_2 и k_3 от изменения доли рециркуляции продувки осветлителя β

β	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5
0	0,03...0,05	$1 - (0,97 \dots 0,95)\alpha$	0,03...0,05	$1 - (0,97 \dots 0,95)\alpha$	$1 - \gamma$
1	0	$(1 - \alpha)$	0	$(1 - \alpha)$	1

Преобразовывая уравнения (3) и (9) при условии, что переменные k_p , K_y , V_2 и $V_{\text{вх}}^0$ являются независимыми (K_y задается, V_2 и $V_{\text{вх}}^0$ определяются конструктивными особенностями элементов контура ОСО и тепловой мощностью энергоблока, k_p определяется постоянными значениями β и γ), получаем выражение с разделенными переменными

$$k_l V_3 = (1 - k_p) V_{\text{вх}}^0 K_y^{-1} - V_2 = \text{const}, \quad (12)$$

где $l = 2, 4$, а $p = 1, 3$, откуда следует:

— Поскольку $k_l V_3 \geq 0$, то $(1 - k_p) V_{\text{вх}}^0 K_y^{-1} \geq V_2$ в различных эксплуатационных режимах при заданных значениях K_y . После подстановки значений k_l (табл. 1, $\beta = 1$) граница возможного использования технологии рециркуляции продувок циркуляционного контура имеет вид

$$V_{\text{вх}}^0 K_y^{-1} \geq V_2. \quad (13)$$

— Дифференцируя уравнение (12), получаем уравнение

$$dV_3 \cdot V_3^{-1} = -dk_l \cdot k_l^{-1}, \quad (14)$$

которое после интегрирования преобразуется в $V_3 = C_1 \cdot k_l^{-1}$, где $C_1 = V_3^0 \cdot k_l$ есть постоянная интегрирования, а V_3^0 — объемный расход продувки циркуляционного контура при нулевом значении доли рециркуляции $\alpha = 0$.

После подстановки значений k_l (табл. 1, $\beta = 1$) получаем

$$V_3(V_3^0)^{-1} = (1 - \alpha). \quad (15)$$

— Интегрируя уравнение (14) в пределах $V_3^h \dots V_3^k$ и $(1 - \alpha)^h \dots (1 - \alpha)^k$, где индексы “h” и “k” соответствуют начальному и конечному состоянию ОСО при изменении режима продувки, определяем условие поддержания заданного коэффициента упаривания в режиме стационарной работы энергоблока ($V_{вх}^0 = \text{const}$), при незначительных вариациях величин V_3 и α и полной рециркуляции продувки осветлителя $\beta = 1$

$$V_3^k (V_3^h)^{-1} = (1 - \alpha^h)(1 - \alpha^k)^{-1}. \quad (16)$$

Из выражения (16) следует, что при указанных режимах работы ОСО возможные отклонения значений V_3 и α должны иметь разные знаки.

В табл. 2 приведены расчетные значения изменений объемных расходов воды в схеме ОСО блока мощностью 1000 МВт, работающего в номинальном режиме, от доли рециркуляции продувки циркуляционного контура. Расходы воды в различных частях ОСО с предвключенным осветлителем определялись соответственно выражениям

$$V_d = V_1 + V_2 + V_3, \quad (17)$$

$$V_d = (1 - \gamma)V_{вх0}, \quad (18)$$

$$k_5 V_{вх}^0 = V_1 + V_2 + k_2 V_3, \quad (19)$$

$$k_3 = (1 - \gamma)(1 - \gamma\beta)^{-1}, \quad (20)$$

где $V_{вх}^0$ — расход исходной воды, м³/с, который равен сумме расходов воды подаваемой на освещение и используемой для приготовления водного раствора Са(ОН)₂ [2].

Таблица 2

Расходы воды в ОСО с предвключенным осветлителем с полной или частичной рециркуляцией продувок циркуляционного контура и полной рециркуляцией продувок осветлителя

Расходы воды, м ³ /с	Доли рециркулируемых продувок циркуляционного контура α					
	0	0,25	0,5	0,75	1	
на охлаждение конденсатора V_0	55					
на компенсацию пара V_1	0,495					
на компенсацию капельного уноса V_2	0,0825					
на компенсацию продувки контура V_3	0,1925					
на рециркулируемую часть продувки αV_3	0	0,048	0,096	0,144	0,1925	
на необратимую потерю продувки $(1 - \alpha)V_3$	0,1925	0,1445	0,096	0,049	0	
на продувку осветлителя $V_{п0} = \gamma V_{вх0}$	0,04					
на входе в осветлитель $V_{вх0}$	вариант А	0,81	0,76	0,71	0,67	0,62
	вариант Б	0,77	0,72	0,67	0,63	0,58
на суммарную компенсацию потерь (добавочная вода) V_d	0,77					
водозабор из окружающей среды (исходная вода) $V_{вх}^0$	0,77	0,722	0,674	0,657	0,578	

В табл. 3 приведена оценка изменения значения коэффициента упаривания ОСО при изменении доли продувки, подаваемой на рециркуляцию. Оценка производилась по уравнениям (3) и (9) после подстановки соответствующих значений k_l и k_p (табл. 1, $\beta = 1$) и значений объемных расходов воды (табл. 2).

Таблица 3

Влияние рециркуляции продувок циркуляционного контура на коэффициент упаривания

Эксплуатационные характеристики	Доли рециркулируемых продувок циркуляционного контура α				
	0	0,25	0,5	0,75	1
коэффициент упаривания K_y	2,80	3,18	3,77	5,00	7,01

Примечание. При заданном значении V_2 граница возможного использования технологии рециркуляции продувок циркуляционного контура соответствует доле рециркуляции $\alpha = 1$.

Исходя из изложенного, можно сделать следующие выводы:

Разработана модель, базирующаяся на балансовых уравнениях, которая позволяет анализировать влияние доли рециркуляции продувок ОСО на гидравлические характеристики охлаждающей системы.

В номинальном режиме эксплуатации блока и при изменении доли продувки циркуляционного контура α от 0 до 1:

- объем исходной воды сокращается на 25 %;
- величина коэффициента упаривания возрастает в 2,5 раза;
- область допустимого применения рециркуляции продувок циркуляционного контура ограничена неравенством (13);
- общий объем воды, подаваемой на осветлитель, при рециркуляции продувок осветлителя по схеме Б на 5 % ниже, чем в варианте А.

Литература

1. Кишневский, В.А. Способ стабилизации температуры при известковании воды оборотных систем охлаждения крупных электростанций / В.А. Кишневский, В.В. Чиченин // Тр. Одес. политехн. ун-та. — Одесса, 2001. — Вып. 2(14). — С. 54 — 56.
2. Кургаев, Е.Ф. Основы теории и расчета осветлителей. / Е.Ф. Кургаев — М.: Госстройиздат, 1962. — 164 с.

References:

1. Kishnevskiy, V.A. Sposob stabilizatsii temperatury pri izvestkovanii vody oborotnykh sistem okhlazhdeniya krupnykh elektrostantsiy [A method for stabilizing the temperature of the cooling system circulating water during the liming at large power plants] / V.A.Kishnevskiy, V.V.Chichenin // Trudy Odessk. politekhn. un-ta. [Proceedings of Odessa polytech. univ.] — 2001. — # 2 (14). — pp. 54 — 56.
2. Kurgaev E.F. Osnovy teorii i rascheta osvetliteley. [Basics of theory and design of clarifiers] / E.F. Kurhaev — Moscow, 1962. — 164 p.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Кравченко В.П.

Поступила в редакцию 3 сентября 2013 г.