

Тема 2. Водний баланс оборотних систем водопостачання

1. Баланс води в оборотній системі.
2. Параметри теплового режиму охолоджувачів води.
3. Сольовий баланс.
4. Оцінка імовірності утворення осадів.

1. Для багаторазового використання води в обороті її приходится кондиціювати, готувати для повторного використання в системі охолодження. Інакше система буде не справлятися з її призначенням через порушення в її роботі. Такими порушеннями може бути поява на стінках теплообмінних апаратів відкладень, біологічних обростань, корозії металевих елементів системи і т.п. Це приводить до збільшення втрат тиску при русі води по трубопроводам з відкладеннями і зменшенню їхньої пропускної здатності, погіршенню умов теплопередачі, зниженню ефекту охолодження і т.д. і т.п.

Баланс води в оборотній системі характеризується рівністю (усі витрати в відсотках від витрати оборотної води):

$$P = P_1 + P_2 + P_3 ,$$

P - підпиток води;

P_1 - втрата води на випаровування;

P_2 - втрата води на знесення з охолодника;

P_3 - витрата води на продування.

Втрати води із системи (рис.1.1) на випаровування (P_1), знесення (P_2) і продування (P_3) характеризують водяний режим оборотної системи і називаються параметрами водяного режиму.

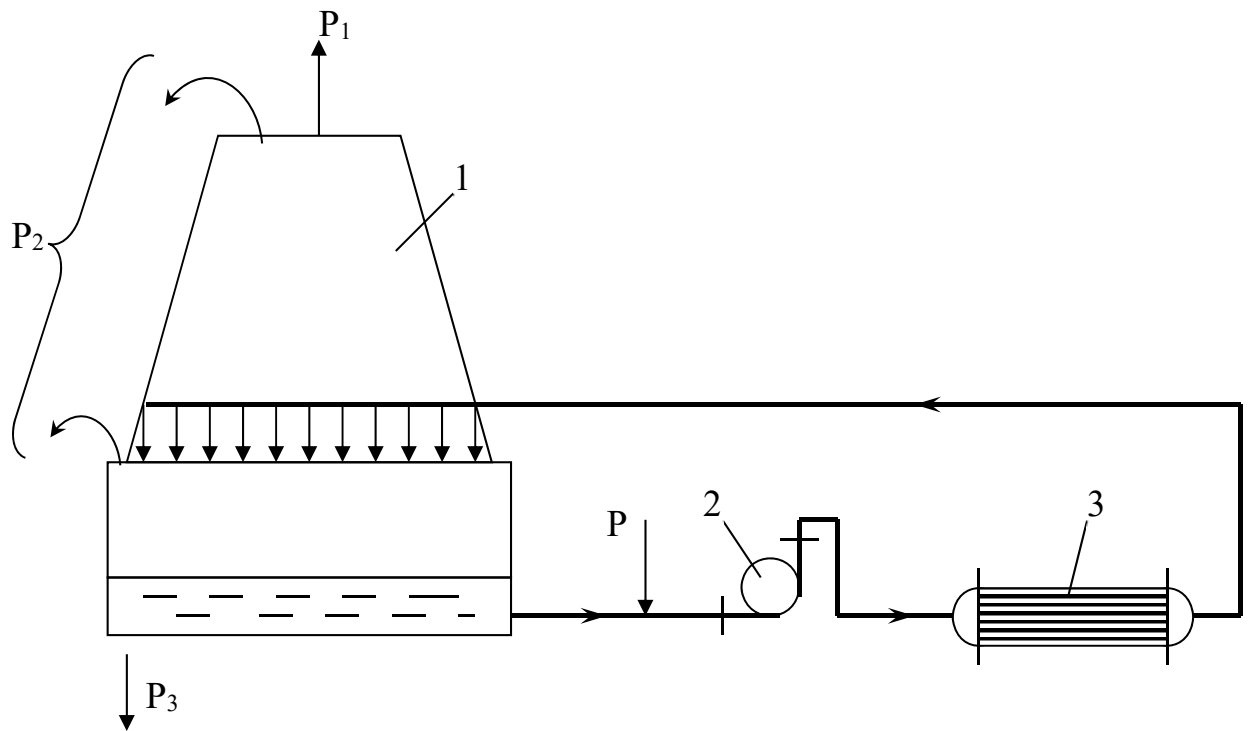
Втрати води на випаровування P_1 , %, залежать від ряду факторів і визначаються розрахунком. З достатньої для практики точністю цей параметр може бути визначений по формулі [5* с.67-69]:

$$P_1 = K \Delta t ,$$

де Δt – різниця температур оборотної води, що подається в градирню і що відводиться;

K - коефіцієнт, прийнятий в залежності від температури повітря:

Температура повітря, °C	0	10	20	30	40
Значення коефіцієнта K	0,1	0,12	0,14	0,15	0,16



- 1 – охолоджувач (ставок, бризкальний басейн, градирня);
 2 – циркуляційний насос;
 3 – холодильник (теплообмінний апарат).

Рисунок 1.1 – Втрати води в оборотній системі

Втрати води на знесення $P_{2, \%}$ для різних охолоджувачів складають:

Вентиляторні градирні з водоуловлювачами	- 0,1 – 0,2
Баштові градирні	- 0,5 – 1,5
Бризкальні басейни до 500 м ³ /год	- 2,0 – 3,0
з 500 до 5000м ³ /год	- 1,5 – 2,0
вище 5000 м ³ /год	- 0,75 – 1,0

2. Крім зазначених параметрів водяного режиму дуже істотними характеристиками систем оборотного водопостачання є параметри теплового режиму охолоджувачів води: температура оборотної води до і після градирні, різниця (перепад) цих температур, питоме теплове навантаження, різниця температур охолодженої води і повітря по змоченому термометру. Параметри теплового режиму нормовані в табл. 39 [5, с.71].

Таблиця 1.1 - Параметри теплового режиму охолоджувачів води

Тип охолоджувача	Максимальне питоме теплове навантаження, тис.ккал/м ² *Год	Перепад температури, °С	Мінімальна різниця температур охолодженої води і повітря по змоченому термометрі, °С
Ставки-охолоджувачі	0,2 – 0,4	5 – 10	10 – 12
Бризкальні басейни	5 – 20	5 – 10	10 – 12
Баштові градирні	60 – 100	5 – 15	8 – 10
Вентиляторні градирні	80 – 100	3 – 20	4 – 5

Сольовий баланс систем оборотного водопостачання має велике значення в практиці експлуатації цих систем. Концентрації тих чи інших солей, що надходять у системи оборотного водопостачання з додатковою водою, піддаються змінам і найчастіше дуже великим. Залежить це від розчинності даної солі, фізико-хімічних процесів, що відбуваються з нею, водяного режиму системи. При цьому концентрації солей в оборотній воді залежать не тільки від прийнятого водяного режиму, але і від потужності оборотної системи і часу, що пройшов з моменту її пуску.

3. Солі, що надходять у системи оборотного водопостачання з додатковою водою, варто розділяти на 2 основні групи:

- 1) солі добре розчинні, що не випадають в осад у системах ні при яких умовах їхньої роботи (хлориди калію, натрію, кальцію, магнію);
- 2) солі, що унаслідок недостатньої розчинності чи фізико-хімічних перетворень, що зазнають вони в системах оборотного водопостачання, можуть випадати в осад (сульфат, карбонат кальцію).

Особливий інтерес являють собою солі другої групи, що випадаючи в осад створюють великі ускладнення при експлуатації систем оборотного водопостачання. Потрібно розрахувати, якою повинна бути концентрація солі при тих чи інших умовах роботи системи і вжити необхідних заходів для запобігання осадоутворення. Для того, щоб визначити, яка повинна бути концентрація в оборотній воді солі, необхідно знати закон зміни концентрації в часі і коефіцієнт концентрування солей, що не випадають в осад.

Якщо в додатковій воді містяться розчинені солі, що не випадають у вигляді осадів і не відкладаються в трубах і холодильниках, то спостерігається баланс солей, що виражається рівнянням

$$C_{\text{дод}} P = C_{\text{об}} (P_2 + P_3) = C_{\text{об}} (P - P_1) .$$

$C_{\text{дод}}$ і $C_{\text{об}}$ - концентрація солі (чи іона) відповідно в додатковій і оборотній воді в г/м³.

При роботі оборотної системи внаслідок випаровування частини води P_1 відбувається поступове збільшення концентрації розчинених у воді солей (чи іонів), але тільки доти, поки кількість виведених із системи солей (чи іонів) із краплинним віднесенням P_2 і продувкою P_3 не стане рівним кількості солей (чи іонів), що вводяться з підпитком P .

Якщо міркувати спрощено, коефіцієнт концентрування солей – це коефіцієнт упарювання $K_y = C_{\text{об}} / C_{\text{дод}} = C_{\text{об}} / C_0$, дорівнює відношенню концентрації солей в оборотній системі до концентрації солей води, підпитка P .

$$K_y = \frac{C_{\text{об}}}{C_{\text{дод}}} = \frac{C_{\text{об}}}{\frac{P_1 + P_2 + P_3}{P_2 + P_3}} = 1 + \frac{P_1}{P_2 + P_3} ,$$

то K_y завжди більше 1, а

$$C_{\text{об}} = C_0 \left(1 + \frac{P_1}{P_2 + P_3} \right) = C_0 \times K_y .$$

Оцінка імовірності осадоутворення в системі оборотного водопостачання без стабілізаційної обробки води проводиться таким чином:

1) обчислюють припустиму граничну лужність оборотної води $L_{\text{об.гр.}}$, що може підтримуватися в системі:

$$L_{\text{об.гр.}} = \psi \sqrt{\frac{0,1(CO_2)_{\text{дод.}} (P - P_1)}{(Ca)_{\text{дод.}}}} ,$$

де $(CO_2)_{\text{дод}}$ і $(Ca)_{\text{дод}}$ – вуглекислота і кальцій додаткової води;

ψ - коефіцієнт, обумовлений залежністю від солевмісту оборотної води і температури охолодженої води по табл. 1.2.

Таблиця 1.2 - Значення ψ

Температура охолодженої води, °C	Солевміст оборотної води, мг/л						
	200	400	600	800	1000	1500	2000
15	8,04	8,68	9,18	9,56	9,94	10,7	11,3
20	7,54	8,12	8,6	8,98	9,32	10,0	10,6
25	7,12	7,65	8,07	8,42	8,76	9,41	9,97
30	6,66	7,18	7,58	7,92	8,22	8,83	9,36
35	6,21	6,69	7,08	7,39	7,63	8,24	8,76
40	5,80	6,24	6,61	6,89	7,16	7,7	8,16
45	5,38	5,79	6,13	6,39	6,64	7,14	7,56
50	4,81	5,42	5,72	5,98	6,22	6,67	7,06

або по формулі

$$\psi = \left[\frac{K_1 \times PP_{CaCO_3} \times 10^{6 + \frac{3\sqrt{\mu}}{1 + 1,5\sqrt{\mu}}}}{1,1 \times K_2} \right]^2,$$

де K_1 і K_2 – константи першої і другої ступені дисоціації вугільної кислоти.

2) обчислюють лужність оборотної води $L_{об}$, що повинна установитися в системі за умови, що не буде відбуватися розпад бікарбонатів:

$$L_{об} = P - P_1^{дод.}.$$

Якщо $L_{об} \leq L_{об.гр.}$, то обробка води не потрібна, а мінімальна продувка визначається по формулі $\frac{L_{дод.} P_1}{L_{об.гр.} - L_{дод.}} - P_2$.

$$P_3 = \frac{L_{дод.} P_1}{L_{об.гр.} - L_{дод.}} - P_2.$$

В нашій м'якій дніпровській воді лужність визначається наявністю бікарбонатних іонів, тобто карбонатною твердістю води, тому

$$P_3 = \frac{T_{\text{дод.карб.}} P_1}{T_{\text{карб.гр.}} - T_{\text{дод.карб.}}} - P_2.$$

$$T_{\text{карб.гр.}} \text{ визначаємо зі співвідношення } \frac{\theta^i}{3} \frac{t_{\text{вих}} - 40}{5,5 - \frac{\theta^i}{7}} - \frac{2,8 T_{\text{некарб.}}}{6 - \frac{\theta^i}{7} + \left(\frac{t_{\text{вих}} - 40}{10} \right)^3},$$

$$2,8 T_{\text{карб.гр.}} = 8 +$$

де θ^i – показник окислюваності оборотної води, мг О₂/л:

Для дніпровської води м. Запоріжжя $T_{\text{карб.гр.}} = 3,24$ мг-екв/л, $T_{\text{дод.карб.}} = 2,6$ мг-екв/л. При $\Delta t = 10^\circ\text{C}$ и для $t_{\text{новітря}} + 10^\circ\text{C}$ для о/ц водопостачання ТЕЦ-ПВС комбінату «Запоріжсталь» $P_1 = 1,2\%$, $P_2 = 1,0\%$.

Тоді

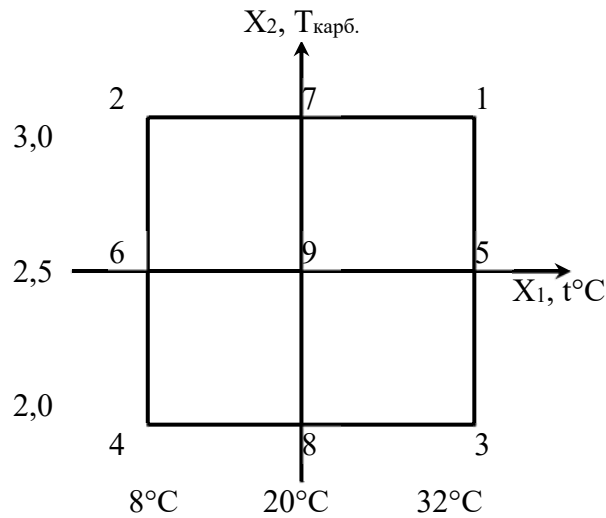
$$P_3 = \frac{T_{\text{дод.карб.}} P_1}{T_{\text{карб.гр.}} - T_{\text{дод.карб.}}} - P_2 = \frac{2,6 \times 1,2}{3,24 - 2,6} - 1,0 = 3,875 \%$$

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = 1,2 + 1,0 + 3,875 = 6,075 \%$$

$$\text{Тоді при } Q = 50784 \text{ м}^3/\text{год} \quad P = 50784 \times 0,06075 = 3085 \text{ м}^3/\text{год}$$

Температура охолодженої води на градирнях і бризкальних басейнах коливається від $+8^\circ\text{C}$ узимку до $+32^\circ\text{C}$ улітку. Твердість карбонатна складає узимку – 2,92 мг-екв/л, навесні – 3,0 мг-екв/л, влітку і восени – 2,55 мг-екв/л. отже підживлення, підпиток Р буде від цих факторів змінюватися значно.

Будуємо двохфакторний план і порахуємо підживлення при варіюванні вищевказаних факторів у приведених межах для 9-ти крапок:



№ крапки	X ₁ , t°C	X ₂ , T _{карб.}
1	+1(32°C)	+1(3,0)
2	-1(8°C)	+1(3,0)
3	+1(32°C)	-1(2,0)
4	-1(8°C)	-1(2,0)
5	+1(32°C)	0(2,5)
6	-1(8°C)	0(2,5)
7	0(20°C)	+1(3,0)
8	0(20°C)	-1(2,0)
9	0(20°C)	0(2,5)

Рисунок 1.2 - Двохфакторний план

При цьому необхідно врахувати, що $T_{карб.гр.}$ по сезонах коливається: осінню, зимою і весною – 3,9 мг-екв/л і літом – 3,55 мг-екв/л.

вираження, Ланжелъє дав свій знаменитий індекс стабільності $J = pH_0 - pH_S$.

Вони розраховані на основі логарифма $(CO_2)_{рівн.}$

$$\lg[CO_2]_{рівн.} = pK_1 - pK_2 + pPP_{CaCO_3} + 2\lg[HCO_3^-] + \lg[Ca^{2+}] - 3\sqrt{\mu} - 5.96.$$

Для визначення pH_s рівноважного насичення карбонатом кальцію він запропонував суму 4-х функцій:

$$pH_s = f_1(t) - f_2(Ca^{2+}) - f_3(Щ) + f_4(P).$$

При $J > 0$ вода схильна до утворення карбонатних відкладень; при $J < 0$ – до розчинення карбонатних відкладень (корозійна); при $J \approx 0$ – вода стабільна.

Треба сказати, що індекс стабільності Ланжелъє внаслідок своєї логарифмічної природи служить лише якісним показником схильності води до того чи іншого процесу і не є кількісною характеристикою агресивних властивостей води.

Питання для самоконтролю

1. Які витрати води існують в оборотних системах?
2. Які параметри характеризують тепловий режим охолоджувачів води?
3. Які види солей присутні в оборотних системах?
4. В яких межах коливається температура та твердість води?
5. Що показує індекс стабільності води?