

### Тема 3. Процеси охолодження води в охолоджувачах

1. Типи охолоджувачів.

2. Теплообмін у випарних охолоджувачах.

**3. Порядок розрахунку необхідної кількості води для цілей охолодження**

1. При оборотному водопостачанні промислового об'єкта охолодний пристрій (охолоджувач) повинен забезпечувати охолодження циркуляційної води до температур, що відповідають оптимальним техніко-економічним показникам роботи об'єкта.

Зниження температури води в охолоджувачах відбувається за рахунок передачі її тепла повітрю. По способу передачі тепла охолоджувачі, застосовувані в системах оборотного водопостачання, розділяються на **випарні** і **поверхневі** (радіаторні).

У випарних охолоджувачах охолодження води відбувається в результаті її випаровування при безпосередньому контакті з повітрям (випаровування 1% води знижує її температуру на  $6^{\circ}\text{C}$ ). У радіаторних охолоджувачах охолоджувана вода не має безпосереднього контакту з повітрям. Вода проходить усередині трубок радіаторів, через стінки яких відбувається передача її тепла повітрю.

Тому що теплоємність і вологоємність повітря відносно невеликі, для охолоджувача води потрібен інтенсивний повітряобмін. Наприклад, для зниження температури води з  $40$  до  $30^{\circ}\text{C}$  при температурі повітря  $25^{\circ}\text{C}$  на  $1\text{ м}^3$  охолоджуваної води до випарного охолоджувача повинне бути підведене близько  $1000\text{ м}^3$  повітря, а до радіаторного охолоджувача, у якому повітря тільки нагрівається, але не зволожується – близько  $5000\text{ м}^3$  повітря.

Випарні охолоджувачі по способу підведення до них повітря розділяють на **відкриті**, **баштові** і **вентиляторні**. До відкритих охолоджувачів відносяться водоймища-охолоджувачі (чи ставки-охолоджувачі), бризкальні басейни, відкриті градирні. У них рух повітря щодо поверхні охолоджуваної води обумовлюється вітром і конвекцією. У баштових охолоджувачах – баштових градирнях – рух повітря викликається природною тягою, створюваною високою витяжною баштою. У вентиляторних охолоджувачах – вентиляторних градирнях – здійснюється примусова подача повітря за допомогою нагнітальних чи відсмоктувальних вентиляторів.

Радіаторні охолоджувачі, що називаються також «сухими градирнями» по способу підведення до них повітря можуть бути баштовими чи вентиляторними.

Для охолодження циркуляційної води до досить низьких температур потрібно велика площа контакту її з повітрям – порядку 30м<sup>2</sup> на 1м<sup>3</sup>/год охолоджуваної води. Відповідно цій рекомендації варто приймати площу дзеркала води водоймищ-охолоджувачів.

У градирнях необхідна площа контакту створюється шляхом розподілу води над зрошувальними пристроями, по яких вона стікає під дією сили ваги у вигляді тонких плівок чи крапель, що розбиваються при влученні на рейки на дрібні бризки. У бризкальних басейнах для створення необхідної площі контакту з повітрям вода розприскується спеціальними соплами на дрібні краплі, сумарна поверхня яких повинна бути достатньої для випарного охолоджувача.

## 2. Теплообмін у випарних охолоджувачах

Зниження температури шляхом:

1. **Тепловіддача зіткненням**, тобто перенос тепла шляхом теплопровідності і конвекції (від середовища більш теплого до середовища більш холодного, від води до повітря, як правило).

$$q_c = \alpha (t - \theta) ,$$

де  $q_c$  – питома кількість тепла, ккал/(м<sup>2</sup>\*год);

$\alpha$  - коефіцієнт тепловіддачі, ккал/(м<sup>2</sup>\*год\*°C);

$t$  - температура води, °C;

$\theta$  - температура повітря, °C.

2. **Поверхневим випаром** (коли парціальний тиск пари, що міститься в повітрі, менше тиску насичення пари при температурі поверхні рідини). Питома кількість тепла, що утрачається водою в результаті випару (ккал/(м<sup>2</sup>\*год):

$$q_v = \beta (e_m - e) ,$$

де  $\beta$  – коефіцієнт тепловіддачі випаровуванням, ккал/(м<sup>2</sup>\*год\*мм.вод.ст.);

$e_m$  - тиск насичення пари при температурі поверхні води, мм.вод.ст.;

$e$  - парціальний тиск водяної пари в повітрі (абсолютна вологість повітря), мм.вод.ст.

1) коли  $t > \theta$ , обидва процеси діють в одному напрямку, викликаючи охолодження води;

2) при  $t=\theta$ , передача тепла зіткненням припиняється й охолодження води відбувається тільки завдяки поверхневому випару;

3) вода буде продовжувати охолоджуватися і при  $t<\theta$  доти, поки кількість тепла, передана повітрям воді зіткненням, не зрівняється з кількістю тепла, що утрачається водою в результаті випару, тобто поки не буде дотримуватися рівність  $q_c+q_e=0$ . Температура води в цей момент досягне того ж значення, що і  $\tau$ -температура змоченого термометра.

Хоча охолодження води при  $\tau$  припиниться, випаровування її і приплив до неї тепла буде продовжуватися. Фактично ж вода не охолоджується до теоретичної межі  $\tau$  – змоченого термометра, хоча і нижче  $\theta$  повітря, вимірюваного по сухому звичайному термометру.

### 3. Порядок розрахунку необхідної кількості води для цілей охолодження

Необхідна витрата води для охолодження,  $\text{м}^3/\text{с}$ , визначається по максимальній величині, що залежить від теплового навантаження ( $M_T$ ), самоочищаючих швидкостей ( $M_c$ ), швидкостей, що виключають місцеве кипіння ( $M_{\text{м.к.}}$ ) :

$$M > M_T > M_c > M_{\text{м.к.}}$$

Витрата охолоджуючої води для відводу тепла через теплопередаючу стінку визначається рівнянням:

$$M_m = \frac{Q}{(t_\Gamma - t_X)c},$$

де  $M_m$  - витрата води, що залежить від теплового навантаження,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$Q = qF$  - теплове навантаження, Вт;

$q$  - тепла напруга,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;

$F$  - площа поверхні, що нагрівається,  $\text{м}^2$ ;

$t_\Gamma$  - температура нагрівання води,  $^\circ\text{C}$ ;

$t_x$  - температура охолодженої води,  $^\circ\text{C}$ ;

$C$  - питома теплоємність води,  $\text{КДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ .

Для запобігання утворення хімічних відкладень природну воду, що надходить у систему, з карбонатною твердістю більш 3-4 мг-екв/л, необхідно кондиціювати.

Природні води, що не дають випадання солей карбонатної твердості при температурі 40 - 60  $^\circ\text{C}$ , прийнято називати термостабільними. Практично

карбонатна твердість термостабільних вод не перевищує 2-3 мг-екв/дм<sup>3</sup> для оборотного водопостачання і 4 мг-екв/дм<sup>3</sup> для прямоточного.

Витрата води, що залежить від наявності у воді механічних домішок (завислих речовин), визначається виходячи з необхідної швидкості, потоку, що самоочищує трубопровід:

$$M_C = V_{CM} W,$$

де  $M_C$  - кількість води, що виключає відкладення завислих речовин, м<sup>3</sup>/с;

$V_{CM}$  - самоочищуюча швидкість, м/с;

$W$  - площа живого перетину, м<sup>2</sup>.

Витрата води, що виключає місцеве кипіння, тобто забезпечення теплообміну тільки за рахунок конвективного режиму, розраховується по формулі:

$$M_{M.K.} = V_{M.K.} W,$$

$$V_{M.K.} = d_3^{0,2} q / 10^5,$$

$$d_3 = 4 W / p.$$

де  $M_{M.K.}$  - кількість води, що виключає місцеве кипіння, м<sup>3</sup>/с;

$V_{M.K.}$  - необхідна критична швидкість, що виключає місцеве кипіння, м/с;

$d_3$  - еквівалентний діаметр охолоджуваного елемента, м;

$q$  - теплова напруга, Вт/м<sup>2</sup>;

$p$  - змочений периметр охолоджуваного елемента, м.

Необхідна кількість води, визначена вищевказаним розрахунком, піддається перевірці на її здатність утворювати шар осаду, що не перевищує нормативної товщини 1 мм.

Товщина шару відкладень на поверхні теплообмінника розраховується по формулі, мм/рік:

$$S = 0,4 M \frac{D_1 + D_2 + D_3}{\gamma \times F} \times \left[ \left( N_e^i - N_{\tilde{a}\tilde{e}} \frac{D_2 + D_3}{D_1 + D_2 + D_3} \right) \times 50 + m \right] \times \sigma \times 10^{-6},$$

де  $M$  - необхідна кількість води для цілей охолодження, м<sup>3</sup>/ч;

$P_1$  - відносні втрати води на випаровування;

$P_2$  - відносні втрати води на знесення з охолодника;

$P_3$  - відносні втрати води на продувку;

$\gamma$  - питома вага відкладень, кг/дм<sup>3</sup>;

$F_{N_i}$  - площа, на якій утворюються відкладення, м<sup>2</sup>;

$N_k$  - карбонатна твердість води підпитка, мг-екв/ дм<sup>3</sup>;

$N_{\text{г}} - \text{г}$  - гранична карбонатна твердість, мг-екв/ дм<sup>3</sup>;

$m$  – кількість завислих речовин, мг/ дм<sup>3</sup>;

$\sigma$  - час роботи агрегату в рік, год.

#### **Питання для самоконтролю**

1. За рахунок чого відбувається зниження температури води в охолоджувачах?
2. Як знижується температура води у випарних охолоджувачах?
3. Як визначити необхідну витрату води для охолодження?
4. Як визначити товщину шару відкладень?
5. які речовини складають відкладання на внутрішній поверхні труб?