

## ГІДРОТЕРМІЧНІ ПАРАМЕТРИ КІНЦЕВОЇ АКВАТОРІЇ ВОДОЙМИЩ-ОХОЛОДНИКІВ ЦИРКУЛЯЦІЙНОЇ ВОДИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

© Босак М.П. Мисак Й.С., 2008

**Досліджено температурний режим кінцевої акваторії водоймищ-охолодників систем технічного водопостачання електростанцій. Отримані відповідні методики розрахунків температури води для цієї акваторії та визначення ефективності роботи систем.**

**In this article use investigation temperature processing ending area of water receiver system technical water supply power station. To get according methods calculation temperature of water for this water receiver and determination effecting working this system.**

**1. Сучасний стан проблеми та задачі дослідження.** У наукових працях, а також у нормативно-технічній літературі метою розрахунку водоймищ-охолодників (ВО) систем технічного водопостачання ТЕС і АЕС є, як правило, визначення середньої температури охолодженої води та необхідної площі ВО. Проте відсутні вимоги щодо визначення оптимальних розмірів таких ВО та їх об'ємів. В аспекті оптимальності ВО доцільно визначати: розміри кінцевої ділянки ВО, де на значній її акваторії зниження температури неістотне; обґрунтувати максимальний або оптимальний об'єм ВО за прийнятним терміном водообміну, враховуючи глибину ВО та питомих теплових навантажень.

Інженерні методи розрахунків ВО виконуються на основі рівняння теплового балансу [1,2], є також спрощені [3] та вдосконалені [4] методи розрахунків. У розрахунках за першим методом використовують середні значення коефіцієнтів тепловіддачі з акваторії ВО під час випаровування  $\alpha_{\text{в}}$  та конвекції  $\alpha_{\text{к}}$ . Це впливає на точність визначення коефіцієнта використання ВО  $K_{\text{во}}$  і активної його площі  $\Omega_{\text{ак}}$ . Крім того в цьому методі температуру природної води проектного водоймища приймають таку, як у водоймищі-аналозі. Це також знижує точність розрахунків, оскільки достатньо близьких природних водоймищ-аналогів не існує, бо середня температура води конкретного ВО залежить від природних факторів, морфографічних особливостей та акумуляційної теплоємності водоймища.

В інженерній практиці також поширено визначення так званого коефіцієнта ефективності  $K_{\text{еф}}$  ВО за формулою

$$K_{\text{еф}} = \Pi \left[ \ln \left( \frac{t_1 - t_2}{t_2 - t_{\text{нр}}} \right) + 1 \right], \text{ де } \Pi = \frac{t_c - t_{\text{нр}}}{t_1 - t_2} \quad (1)$$

де  $t_1$  – температура води на скиді у ВО;  $t_2$  – температура води в кінці ВО (на водозаборі);  $t_{\text{нр}}$  – природна температура води;  $t_c$  – середня температура поверхні ВО.

У табл. 1 наведено результати визначення  $K_{\text{еф}}$  на основі натурної поверхневої температурної зйомки ВО Хмельницької АЕС для теплового навантаження з циркуляційною водою від двох енергоблоків потужністю 2000 МВт. З даних таблиці отримуємо суперечливі дані про вищі значення  $K_{\text{еф}}$  при нижчих значеннях охолодження води  $\Delta t$  у ВО. Досліджуючи першоджерела показника  $K_{\text{еф}}$  можна стверджувати, що його виведено з формули для визначення температури охолодженої води у ВО [2,5]

$$t_2 = t_{\text{нр}} + \Delta t / e^{K_{\text{еф}} / \Pi} \quad (2)$$

Розрахунок показника  $K_{\text{еф}}$  на основі натурних досліджень

Дата	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$t_e, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{ср}}, ^\circ\text{C}$	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	$\Theta, ^\circ\text{C}$	$W_{200}, \text{м/с}$	$K_{\text{еф}}$
1	20,8	15,2	9,4	16,0	5,6	5.75	2.3	0,80
2	23,0	15,9	10,7	16,8	7,1	11.8	0.3	0,73
3	23,8	16,8	9,4	17,4	7,0	11.7	1.1	0,75
4	24,5	16,5	9,8	17,0	8,0	7	1.9	0,70
5	20,5	13,2	7,6	13,3	7,3	6	4.2	0,65

У таблиці:  $\Theta$  – температура повітря;  $W_{200}$  – швидкість вітру на висоті 2,0 м..

З заміною параметра  $\Pi$  теплообміну в [2]

$$\Pi = \frac{acQ}{a_{\Sigma}\Omega} = \frac{t_c - t_{np}}{(t_1 - t_2)} \quad (3)$$

де  $\Omega$  – площа водосховища,  $\text{м}^2$ ;  $c$  – питома теплоємність води;  $a_{\Sigma}$  – сумарний коефіцієнт тепловіддачі з поверхні ВО.

У формулі (2) значення параметра теплообміну  $\Pi$  вираховували саме через сумарний коефіцієнт тепловіддачі, приймаючи  $K_e$  незмінним для цього типу ВО та питомого теплового навантаження. В остаточному вигляді формула (1) виведена з (2) з заміною показника  $K_{\text{во}}$  на інший показник  $K_{\text{еф}}$ , який при цьому не відображає фактичних ознак ефективності ВО. Тому визначення показника  $K_{\text{еф}}$  (паралельно з  $K_{\text{во}}$ ) в інженерній практиці, за формулою логарифмічного закону охолодження циркуляційної води у ВО, є необгрунтованим.

**2. Обгрунтування розмірів кінцевої зони ВО.** В розрахунках охолодження циркуляційної води ТЕС і АЕС у водоймищах-охолодниках в останніх за інтенсивністю охолодженню виділяють ближню і дальню кінцеву акваторію. У ВО ТЕС і АЕС, і особливо – видовжених та протічних річками, в кінцевій акваторії можна виділити зону добового охолодження та зону повільного охолодження циркуляційної води до її природної температури. У дальній зоні ВО встановлюється температура  $t_2$  вища від природного її значення на величину  $d$ , тобто  $t_2 = d + t_{np}$ . Ця зона займає значні розміри, тому постає питання про її значення для ефективності ВО ТЕС і АЕС.

У загальному вигляді гідротермічний режим водяного потоку описується рівнянням Нав'є-Стокса, а температура води зони повільного охолодження знаходиться у функціональній залежності

$$t_2 = f(S_R, S_B, R, V, \lambda), \quad (4)$$

де  $R$  – радіаційний баланс,  $S_B$  – тепловіддача з поверхні води в повітря випаровуванням;  $S_B$  – тепловіддача від поверхні води в повітря конвекцією;  $V$  – швидкість води;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопередачі.

Швидкість течії води у кінці ВО перед водозабором становить переважно 1,0–5,0 см/с. Це доволі малі швидкості течії, тому з врахуванням великої віддалі від скиду теплої води у ВО та розподілу ізотерм в ньому можна стверджувати, що динамічне перенесення тепла до кінцевої ділянки ВО не є визначальним на її температури. Визначальними для температур води в цій акваторії є метеофактори.

Інтенсивність охолодження води в зоні добового інтервалу протікання її по акваторії ВО, з врахуванням результатів натурних досліджень [3] можна виразити узагальненою формулою

$$\Delta t_{\text{во}} = \Delta t_{\text{ц}} (1 - e^{-bT}), \quad ^\circ\text{C/год}, \quad (5)$$

де  $T$  – час протікання води у ВО;  $\Delta t_{\text{ц}}$  – нагрівання циркуляційної води від теплообмінного обладнання,  $b$  – коефіцієнти,  $b = 0,322 - 0,140$  залежно від виду ВО та теплового навантаження [3].

У кінцевій частині навантаженого непротічного ВО (з поверхневим водозабором) інтенсивність зниження температури води становить в літній період  $Vt = 0,03$  –

0,08 °С/год (рис.1), або 0,01 – 0,06 °С/100м.

Іншими дослідженнями [4] визначено, що коефіцієнт тепловіддачі випаровуванням  $\alpha_{вип}$  в кінці протічного ВО становить 0,01 Мкал/(м<sup>2</sup> · добу · мм). в центральній частині 0,07–0,16 Мкал/(м<sup>2</sup> добу мм), а в ближній зоні 0,80–0,50Мкал/(м<sup>2</sup> добу мм).

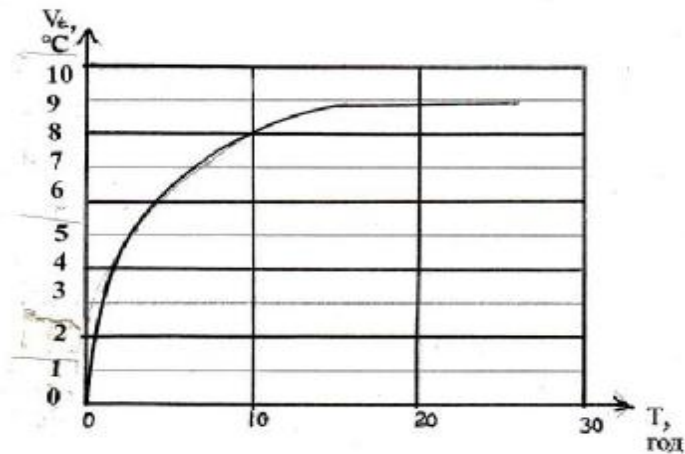


Рис. 1. Графік добового охолодження циркуляційної води електростанції у ВО при питомому навантаженні охолоджувальної води  $q = 1,04 \text{ м}^3/\text{м}^2$  добу

У літній теплий період майже все охолодження відбувається внаслідок випаровування. Тому за пропорційним співвідношенням інтенсивність зниження температури в кінці ВО зменшується в 50–70 разів, що збігається з результатами, визначеними за формулою (5). Отже, можна стверджувати, що така сама інтенсивність охолодження збережеться у водоймі поза межами зони добового протікання і охолодження води.

У літній період року зміна середньомісячної природної температури води для регіонів України становить 1– 3°С , а середньодобових температур 0,3–5°С. Добові зміни природної температури води залежать від зміни температури повітря, сонячного тепла, метеорологічних факторів. Зокрема, для реальних умов ВО підвищення середньодобових температур повітря на 0,4 °С призводить до підвищення  $t_{пр}$  води на 0,1°С, а зниження  $\Theta$  на 0,6°С призводить до зниження  $t_{пр}$  на 0,1 °С. Тобто зміна значень  $t_{пр}$  відбувається пропорційно (рис. 2).

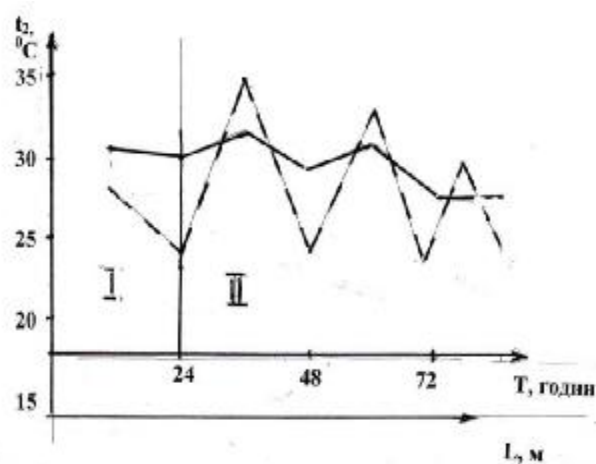


Рис. 2. Графік добових змін температури води у протічних ВО в літній період відповідно до зміни температури повітря  
 \_\_\_\_\_ температури води,  
 — — — температури повітря

Ймовірно, що за межами зони добового охолодження води швидкість зміни температури циркуляційної води, за сталих температур повітря, або у разі їх зниження будуть пропорційними середньодобовим коливанням  $q$ .

Для гідротермічних розрахунків дальньої акваторії протічних ВО можна також використати так званий метод суперпозиції [6]. Виділимо об'єм кінцевої ділянки ВО (рис. 3), граничні умови охолодження води для якого записуються в такому вигляді:

$$-\lambda \frac{dt}{dl} = \Delta S = \rho cW(t_1 - t_2),$$

де  $\Delta S$  – різниця між тепловмістом води на розрахунковій ділянці акваторії водоймища. Для розрахунків температури води на глибині чи по відстані водоймища граничними умовами є початкова температура води  $t_0$ , глибина  $h$ , значення коефіцієнтів тепло- і температуропровідності

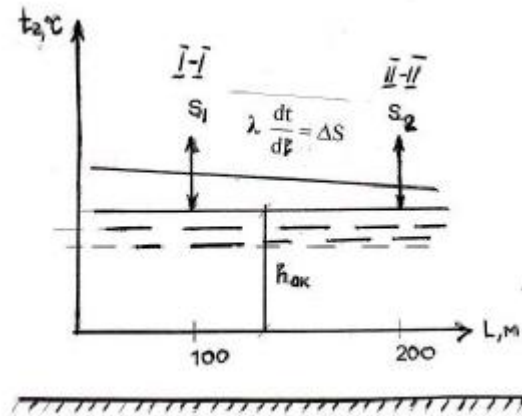


Рис 3. Граничні умови теплообміну для розрахунку температури води в дальній акваторії ВО;  $S_1, S_2$  – тепловміст на ділянці акваторії

Температура води у водоймищі або розрахункова відстань  $l$  для конкретної схеми та заданої температури води визначиться за виразом

$$t = t_0 - n \cdot \Delta S \cdot l / I \quad (6)$$

де  $n$  – параметр температури, який за необхідності врахування зміни температури повітря вводить у другу складову формули та визначається залежно від граничних умов; значення критерію Фур'є та критерій Біо  $B_i$ .

Для гідротермічних розрахунків протічних ВО СТВ електростанцій визначальним є теплий літній період з високими температурами  $q$  і  $t_2$ . У цей період охолодження води у ВО відбувається переважно внаслідок її випаровування. Теплопередача в кінцеву ділянку протічного і малопротічного ВО відбувається внаслідок хвильового, дрейфового та динамічного перемішування води і турбулентної та конвективної теплопровідності, які характеризуються відповідними коефіцієнтами  $\lambda_t, \lambda_k$ . Для розрахунків теплоперенесення по довжині протічних великих водоймищ з великою довжиною зони 2 за цією методикою значення  $\lambda_t$  збільшуються пропорційно до дуже великих чисел, що не дає прийняттого остаточного результату.

Відтак для прогнозних гідротермічних розрахунків дальньої акваторії водоймищ-охолодників, (поза межами добового охолодження), доцільно застосування методики на базі експериментальних натурних даних про інтенсивність зміни температури в кінцевій зоні ВО, що наведено вище. Приймаючи таку інтенсивність охолодження води у зоні II ВО (рис. 1) постійною для розрахункового періоду можна визначити температуру води  $t_3$  на певній віддалі поза межами акваторії добового охолодження

$$t_3 = t_2 - \Delta t_3 = t_2 - V_t \cdot l \quad (7)$$

де  $\Delta t \leq t_{np} - t_2$  – діапазон зниження температури води.

За вищенаведеними методиками охолодження води поза межами добової акваторії повільне і за сталих метеофакторів не перевищує 0,5 °С на 1 км відстані. Тому протяжність ВО необхідно обмежувати умовою протікання його за період однієї доби для ВО середньої глибини та періодом протікання не більше півтори доби – для мілких ВО. Аналіз впливу зменшення об'єму ВО кінцевої зони на температуру охолоджувальної води для теплообмінного обладнання буде розглянуто авторами в подальших публікаціях.

Для оцінки ступеня використання ВО ТЕС і АЕС в різні експлуатаційні періоди доцільно застосовувати такі показники: величину температурного перепаду охолоджуваної води  $\Delta t_e$  у ВО, коефіцієнт використання площі  $K_{во}$ . Враховуючи те, що ВО є технологічним елементом обігових СТВ ТЕС і АЕС, тому доцільно застосувати комплексний показник необхідного ступеня водозабезпечення (СВ) електростанції залежно від категорії СТВ за рівнем водозабезпечення. Показником СВ енергоблока узагальнюємо кількісні та якісні характеристики роботи СТВ за основними параметрами: подачею води  $Q_{гр}$  (або  $Q_{omm}$ ) та її температурою  $t_l$ .

Аналогічно, як це прийнято на електростанціях у звітній формі 3 – тех. нормативну величину показника СВ встановлюємо з розрахунку водозабезпечення повної потужності електростанції. Позначивши відповідними коефіцієнтами  $K_Q = Q/Q_{ном}$ ,  $K_t = t/t_{cp}$  зміну параметрів  $Q_i$  і  $t_i$  щодо їх установлених номінальних величин. Тоді узагальнений показник ступеня водозабезпечення  $СВ = K_Q \cdot K_t$ . У повнішому обсязі ефективність СТВ додатково залежить від стану конденсаторів турбін, що впливає на їх температурний напір  $\delta t$ , від використання площі і водообігу ВО, які враховуємо відповідними коефіцієнтами  $K_b$ ,  $K_F$ . Отже, комплексний нормативний показник ефективності СТВ  $K_{ef.нор}$  електростанції визначиться як:

$$K_{ef.нор} = K_Q \cdot K_t \cdot K_l \cdot K_F. \quad (8)$$

Фактичний показник СВ можна визначити за зміною потужності енергоблока

$$K_\phi = 1 - DN/N, \quad (9)$$

де  $DN$  – величина зменшення виробітку електроенергії внаслідок зниження рівня водозабезпечення через будь-які причини.

При значеннях  $K_\phi \geq K_{ef.нор}$  СТВ має резерв охолоджувальної води за параметрами  $Q$ ,  $t$  і можливість забезпечити відповідний СВ для установленної потужності енергоблока..

Числовий показник  $K_{ef.нор}$  може бути встановлений для середньорічних параметрів СТВ або ж для окремих експлуатаційних сезонів, зокрема, для літнього періоду року.

1. Фарфоровский Б.С., Фарворовский В.Б. Охладители циркуляционной воды тепловых электростанций. – Л.: Энергия, 1972. – 111с. 2. Методические указания к рас чету водохранилищ-охладителей ТЭС. П-33-75 / ВНИИГ. – Л.: Энергия, 1976. – 34 с. 3. Босак М.П., Мисак Й.С. Интенсивність охолодження циркуляційної води ТЕС і АЕС у водосховищах-охолодниках. // Энергетика и электрификация. – К., 2005. – № 8. – С.42–44. 4. Никифорович Е.И., Костин А.Г., Доманов В.Н. Новый усовершенствованный метод расчета охлаждающей способности водоемов-охладителей ТЭС и АЭС / Энергетика і електрифікація. –2005. – №9. 5. Труды совещания по гидроаэротермическим исследованиям. водохранилищ-охладителей / Под ред. А.Г. Прокопенко. – Л.: Гидрометеоиздат, 1969. – 163 с. 6. Рекомендации по термическому расчету водохранилищ. П 78-79. – Л.: ВНИИГ, 1980. – 30 с.