

УДОСКОНАЛЕННЯ СПОРУД ВОДОВІДВІДНОГО ТРАКТУ СИСТЕМ ТЕХНІЧНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

© Босак М.П., Орел В.І., 2007

Виконано аналіз споруд водовідвідного тракту циркуляційних систем технічного водопостачання ТЕС та умов їхньої експлуатації. Запропоновано нові конструкції цих споруд та графічні залежності для оперативного визначення витрат відведення циркуляційної води в акваторію протічного водосховища-охолодника при експлуатаційному регулюванні шлюзами, влаштованими на відвідних каналах.

The analysis of buildings overflow-pipe path of the circulating systems of technical water supply of thermal power station and conditions of their operations are carried out. New constructions of these buildings and graphic dependences for operative definition of the charges of removal of circulating water in aquatorium of flowing storage reservoir at the operational regulation by the gates established on removing channels are offered.

Функції та сучасний стан споруд водовідвідного тракту систем технічного водопостачання теплових електростанцій. Споруди водовідвідного тракту циркуляційних систем технічного водопостачання (СТВ) ТЕС забезпечують відведення відпрацьованої технічної води, її розподіл в різні частини водосховища-охолодника та необхідний рівень води для підтримання нормативного вакууму в циркуляційній СТВ. Технічний стан та рівень експлуатації цих споруд впливають на економічність всієї СТВ теплової електростанції. Їхній набір залежить від типу та схеми водопостачання і водовідведення ТЕС, виду охолодників циркуляційної води, рельєфу місцевості та діапазону зміни рівнів води у джерелі водопостачання. Як правило, до складу споруд водовідвідного тракту входять: відвідні циркуляційні трубопроводи; закриті залізобетонні канали; відкритий відвідний канал; сифонна споруда; камери від'єднання, а також, в окремих випадках, перепадні споруди (рис. 1). У системах технічного водопостачання ТЕС з протічним річкою водосховищем-охолодником (ВО) для розподілу води на охолодження у верхову і низову частини ВО на відвідних каналах влаштовують шлюзи-регулятори (рис. 1,б, рис. 2). У низову частину нагріта циркуляційна вода подається, в основному, для забезпечення надійної роботи гідромеханічного устаткування водоскидної споруди водосховища в зимовий період. Розподіл теплої води у верхову та низову частини водосховища-охолодника доцільний також з природоохоронних умов, якщо ВО використовують комплексно як для технічних потреб, так і для розведення риби. При цьому теплове навантаження по акваторії ВО розподіляється рівномірніше, що забезпечує сприятливіші умови в літній період для вирощування риби. Сифонні споруди в складі водовідвідного тракту призначені для забезпечення й обмеження вакууму у водяній частині конденсатора. З метою зменшення напору циркуляційних насосів СТВ рекомендується [1] використовувати максимальну висоту сифона (вакуумметричну висоту) в циркуляційній СТВ теплової електростанції, але не більше за $H_{\text{вак}} = 8,5$ м. За висоту сифона приймають різницю позначок верха конденсатора та лінії п'єзометричного напору у відвідному трубопроводі [1].

У періоди регулювання скиду води в акваторію водосховища-охолодника пропускну здатність шлюза-регулятора в разі незатопленого витікання води через його отвір прямокутної форми, без бічного стиснення можна розрахувати за формулою [2, с.269]:

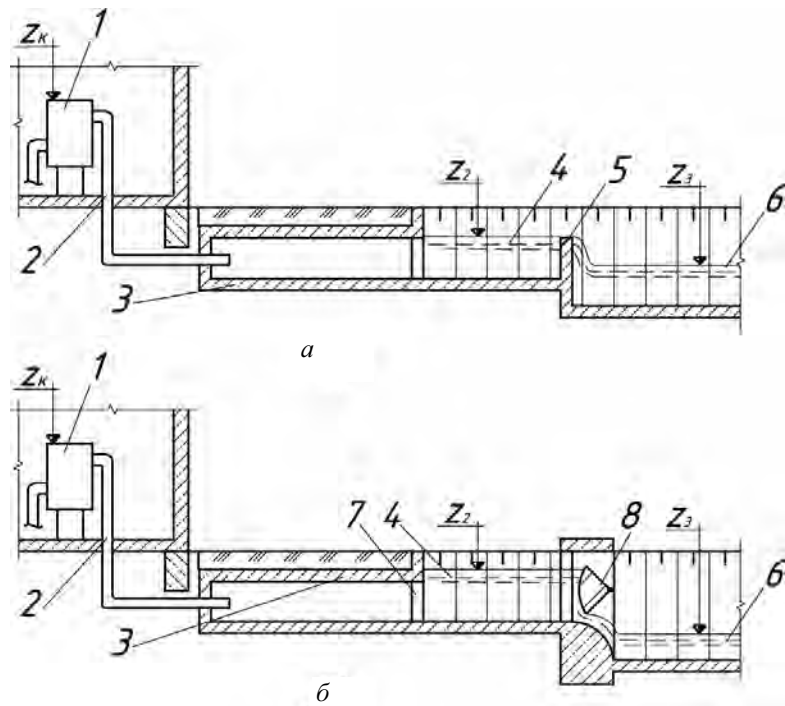


Рис. 1. Поширені схеми споруд водовідвідного тракту циркуляційної СТВ ТЕС з відкритим відвідним каналом: а – з сифонною стінкою; б – з шлюзом-регулятором; 1 – конденсатор турбіни ТЕС; 2 – зливний циркуляційний трубопровід; 3, 4 – відповідно закритий і відкритий відвідні канали; 5 – сифонна стінка; 6 – скидний канал теплої води у водосховище; 7 – колодязь від'єднання закритих відвідних каналів; 8 – шлюз-регулятор; Z_k – позначка верха конденсатора; Z_2 – позначка рівня води у відвідному каналі; Z_3 – позначка рівня води у скидному каналі (або у водосховищі-охолоднику)

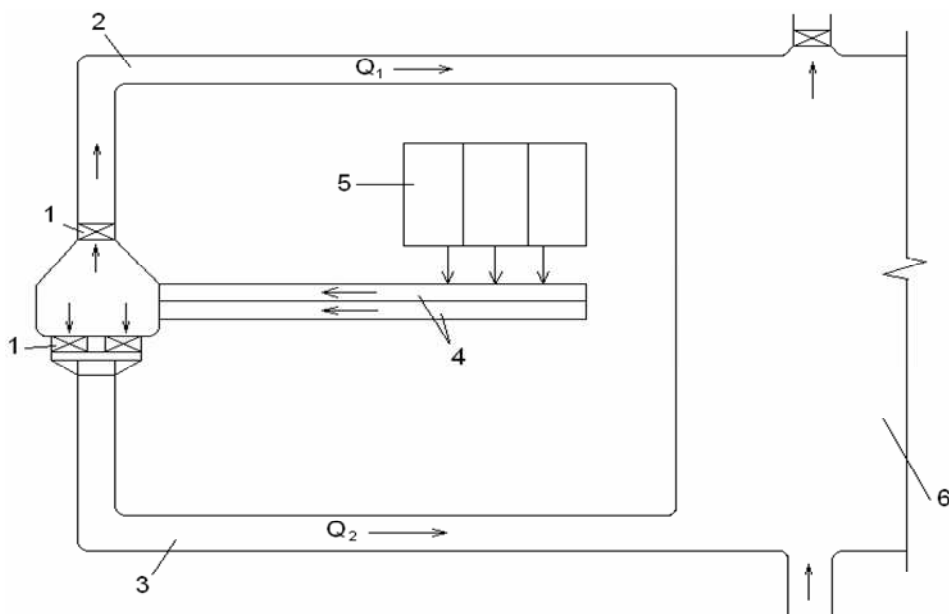


Рис. 2. Схема відведення циркуляційної води з її розподілом у верхову та низову частини протічного водосховища-охолодника ТЕС: 1 – шлюз-регулятор; 2, 3 – відкриті відвідні канали № 1 та № 2 циркуляційної води відповідно до низової та верхової частин водосховища-охолодника; 4 – закриті відвідні канали; 5 – енергоблоки; 6 – протічне водосховище-охолодник; Q_1 , Q_2 – подача води на охолодження відповідно в низову та верхову частини водосховища-охолодника

$$Q = \varphi_c \cdot B \cdot h_c \cdot \sqrt{2g(H_0 - h_c)}, \quad (1)$$

де φ_c – коефіцієнт швидкості, за рекомендаціями Павловського для щитового отвору без порогу $\varphi_c = 0,95 \dots 1,0$ [2, с.269; 3, с.189]; B – ширина отвору шлюзу, м; h_c – глибина потоку в стисненому перерізі, м,

$$h_c = \varepsilon_c \cdot a, \quad (2)$$

де ε_c – коефіцієнт вертикального стиснення потоку на виході з отвору; a – висота отвору шлюзу (висота підйому щита), м; H_0 – повний напір потоку перед щитом, м.

Для потенціального руху рідини в умовах незатопленого витікання з-під щита теоретична залежність для коефіцієнта вертикального стиснення потоку, запропонована Жуковським, має вигляд: $\varepsilon_c = f_1(a/H_0)$ [4, с.455]. При цьому, якщо $a/H_0 = 0,1$, це відповідає витіканню з малого отвору [4, с.455], а при $a/H_0 = 0,75$, згідно з дослідями Богомоллова та Михайлова, починається перехід до витікання крізь водозлив [4, с.456].

Як видно з формул (1) та (2), пропускна здатність шлюза-регулятора Q залежить від висоти отвору шлюзів a та рівнів води перед ними H_0 , тобто від відносної висоти отвору a/H_0 . За умови $H \approx H_0$ в літературі наводяться залежності для розрахунку пропуску води регуляторами з плоскими затворами, наприклад [3, с.190], $q/(\varphi_c \cdot H^{3/2}) = f_2(\varepsilon_c \cdot a/H)$, де $q = Q/B$.

Загалом, для експлуатації споруд системи технічного водовідведення ТЕС характерні такі окремі недоліки: складні умови для технічного огляду та ремонту; відсутність простих графічних залежностей для визначення пропускної здатності шлюзів-регуляторів в процесі розподілу води в акваторію ВО у заданих пропорціях тощо.

Мета роботи – удосконалення роботи споруд для відведення циркуляційної води в системах технічного водопостачання ТЕС. Для досягнення мети необхідно розв'язати такі задачі досліджень – розроблення нових конструкцій споруд СТВ циркуляційної води від ТЕС та зручних для експлуатаційного персоналу залежностей при управлінні шлюзами-регуляторами в процесі зміни витрат циркуляційної води під час роботи ТЕС.

Аналіз та удосконалення споруд водовідвідного тракту СТВ ТЕС. Характерною системою технічного водопостачання з протічним річкою водосховищем-охолодником є, зокрема, СТВ Добротвірської ТЕС (рис. 2). Розподіл циркуляційної води на охолодження у верхову частину водосховища-охолодника становить $\approx 78\%$, у низову – $\approx 22\%$. Шлюз-регулятор відвідного каналу № 2 має два отвори шириною $B = 6$ м кожен, а шлюз-регулятор відвідного каналу № 1 – один такий отвір. Зміна експлуатаційного режиму роботи шлюзів проводиться в таких випадках. Зі зміною потужності ТЕС або вимкненні одного чи декількох енергоблоків змінюються як витрата технічного води, так і її рівень у відвідному каналі перед шлюзами, що потребує відповідного регулювання заслонами. Іншою причиною для зміни ступеня відкриття заслонів шлюзів-регуляторів є необхідність підтримувати відповідний рівень води в закритих каналах за умовою максимально допустимого вакууму у циркуляційній СТВ на ділянці конденсаторів турбін. А в період мінімальної потужності ТЕС зі зменшенням при цьому витрати циркуляційної води пропуск її забезпечує шлюз-регулятор № 1 та один отвір регулятора № 2.

Визначимо питому пропуску здатність шлюзу-регулятора $q = f_3(\varphi_c, a, H)$ за умови, що наповнення H відкритих відвідних каналів СТВ теплової електростанції переважно становить від 4 м до 2 м відповідно в період роботи ТЕС на повну та мінімальну потужності (див. таблицю).

Для практичного використання за даними таблиці нами розроблено графіки (рис. 3), які для експлуатаційного персоналу спрощують визначення витрат води у відвідних каналах СТВ. При цьому формула, що апроксимує дані таблиці, має вигляд (при коефіцієнті кореляції 0,9987):

$$q = 2,163 \cdot \varphi_c \cdot H^{0,6} \cdot a^{0,8979}. \quad (3)$$

Використання наведених вище залежностей зменшує час обчислення значень Q або a при використанні експлуатаційним персоналом ТЕС.

**Питома пропускна здатність q шлюзу-регулятора з сегментним затвором
при різній висоті отвору шлюзів a та напорі води H ($\varphi_c = 0,95$)**

$H = 4 \text{ м}$				$H = 3 \text{ м}$				$H = 2 \text{ м}$			
$a, \text{ м}$	a/H	ε_c	$q, (\text{м}^3/\text{с})/\text{м}$	$a, \text{ м}$	a/H	ε_c	$q, (\text{м}^3/\text{с})/\text{м}$	$a, \text{ м}$	a/H	ε_c	$q, (\text{м}^3/\text{с})/\text{м}$
0,40	0,10	0,615	2,006	0,30	0,10	0,615	1,303	0,20	0,10	0,615	0,709
0,60	0,15	0,618	2,927	0,45	0,15	0,618	1,931	0,30	0,15	0,618	1,051
0,80	0,20	0,620	3,907	0,60	0,20	0,620	2,538	0,40	0,20	0,620	1,381
1,00	0,25	0,622	4,811	0,75	0,25	0,622	3,125	0,50	0,25	0,622	1,701
1,20	0,30	0,625	5,690	0,90	0,30	0,625	3,695	0,60	0,30	0,625	2,012
1,40	0,35	0,628	6,536	1,05	0,35	0,628	4,245	0,70	0,35	0,628	2,311
1,60	0,40	0,630	7,337	1,20	0,40	0,630	4,765	0,80	0,40	0,630	2,594
1,80	0,45	0,638	8,160	1,35	0,45	0,638	5,300	0,90	0,45	0,638	2,885
2,00	0,50	0,645	8,936	1,50	0,50	0,645	5,804	1,00	0,50	0,645	3,159
2,20	0,55	0,650	9,647	1,65	0,55	0,650	6,266	1,10	0,55	0,650	3,411
2,40	0,60	0,660	10,360	1,80	0,60	0,660	6,729	1,20	0,60	0,660	3,663
2,60	0,65	0,675	11,065	1,95	0,65	0,675	7,187	1,30	0,65	0,675	3,912
2,80	0,70	0,690	11,691	2,10	0,70	0,690	7,594	1,40	0,70	0,690	4,133
3,00	0,75	0,705	12,219	2,25	0,75	0,705	7,937	1,50	0,75	0,705	4,320

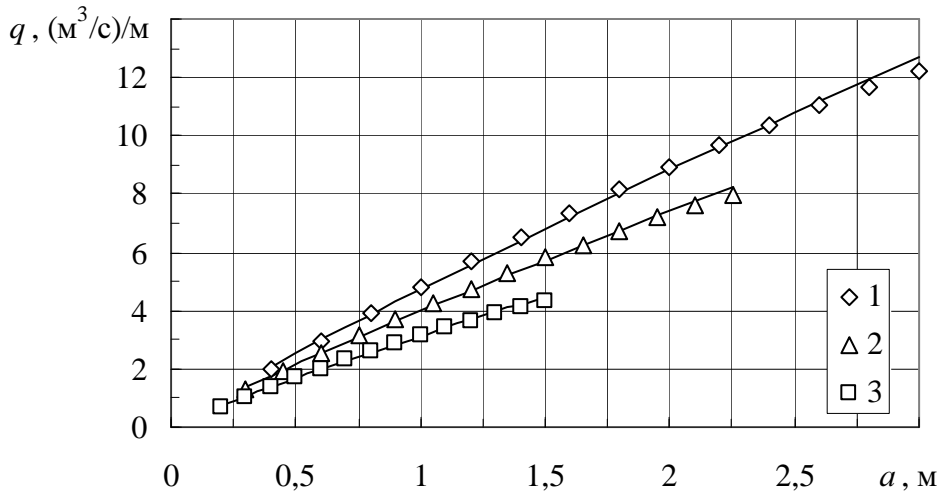


Рис. 3. Питома пропускна здатність шлюзу-регулятора q
залежно від висоти підйому щита шлюзу a та напору перед шлюзом H , м:
4 (1); 3 (2); 2 (3) при коефіцієнті швидкості $\varphi_c = 0,95$

Спрощує конструкцію споруд відведення, а відтак управління шлюзами-регуляторами, застосування безколязного випуску циркуляційної води ТЕС у закритий відвідний канал, аналогічного розробленому в [5], де таке технічне рішення використане як альтернативне сифонним колодезям і стінкам для регулювання й обмеження значення допустимого вакууму в циркуляційній СТВ на ділянці конденсаторів турбін. Особливістю розробленої конструкції є те, що виливний отвір випуску відвідного циркуляційного трубопроводу скеровано догори (рис. 4). Цим забезпечується постійний залив цього трубопроводу і надійна сифонна дія в циркуляційній СТВ при змінних рівнях води як на водоскиді, так і в закритих відвідних каналах. Застосування такої конструкції відвідних циркуляційних трубопроводів спрощує управління затворами-регуляторами шлюзу на відвідному каналі, оскільки при цьому немає необхідності додатково контролювати та регулювати рівень води у каналі для забезпечення допустимої вакуумметричної висоти в циркуляційній системі технічного водопостачання ТЕС. Таке рішення у більшості випадків дає можливість взагалі відмовитись від встановлення регуляторів на розподільчих спорудах відвідних каналів охолоджуваної води ТЕС, що зменшує будівельну вартість та експлуатаційні витрати.

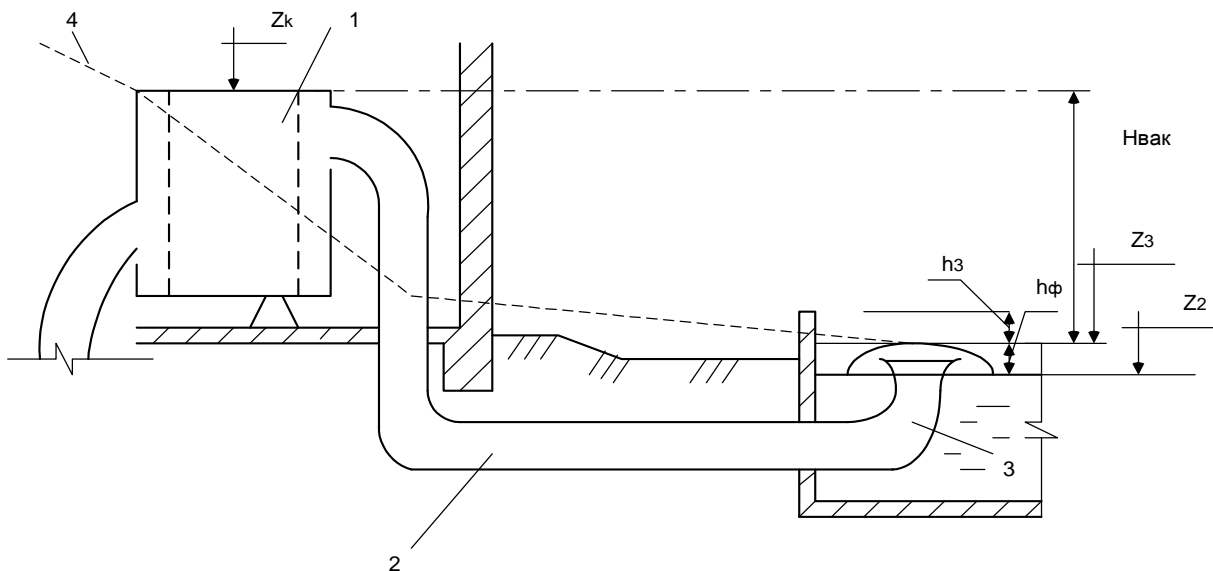


Рис. 4. Безколязний випуск охолоджувальної води від конденсаторів турбін ТЕС:
 1 – конденсатор турбін ТЕС; 2 – відвідний трубопровід; 3 – фонтанний випуск;
 4 – лінія п'єзометричного напору; Z_k – позначка верха конденсатора;
 Z_2 – позначка рівня води у відвідному каналі; Z_3 – позначка лінії
 п'єзометричного напору у відвідному трубопроводі;
 h_{ϕ} – висота фонтануючого (швидкісного) напору;
 h_3 – втрати напору у відвідному трубопроводі;
 $H_{\text{вак}}$ – допустимий вакуум у циркуляційній СТВ

В окремих випадках технічними умовами заводу-виробника для пуску циркуляційних насосів визначено й обмежено конкретний рівень заповнення водою циркуляційних трубопроводів. Як правило, на практиці це забезпечується створенням вакууму в циркуляційній СТВ на ділянці конденсаторів турбін з одночасним заповненням водою ділянки напірного і відвідного трубопроводів. Для цього зливний циркуляційний трубопровід необхідно розмістити нижче за рівень води у відвідному каналі. Таку умову можна забезпечити влаштуванням сифонного колодезя безпосередньо на початку закритого відвідного каналу (рис. 5). Розмір такого колодезя повинен бути достатнім для акумулювання запасу води, необхідного для заповнення ділянки відвідного циркуляційного трубопроводу і водяної частини конденсатора турбіни енергоблоку. Перевага цієї схеми, порівняно з розміщенням єдиного сифонного колодезя на відкритому відвідному каналі, полягає у менших обсягах будівельних робіт та можливості періодичного огляду окремих закритих каналів в процесі їхньої експлуатації.

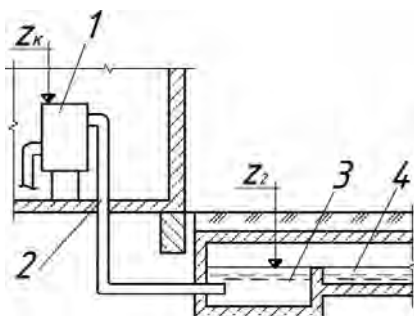


Рис. 5. Схема відведення циркуляційної води СТВ ТЕС з сифонним колодезем у закритому відвідному каналі:
 1 – конденсатор турбін ТЕС;
 2 – зливний циркуляційний трубопровід;
 3 – сифонна стінка; 4 – закритий відвідний канал;
 Z_k – позначка верха конденсатора;
 Z_2 – позначка рівня води у відвідному каналі

Іншу удосконалену схему споруд відведення циркуляційної води ТЕС її охолодженням у протічне водосховище-охолодник наведено на рис. 6. У цьому варіанті відсутні громіздкі шлюзи-регулятори. Відвідні циркуляційні трубопроводи введено у закриті відвідні канали за типом безколязного (фонтануючого) випуску. У кінці закритих відвідних каналів влаштовують колодезь від'єднання закритих відвідних каналів, в стінках якого передбачено пази для встановлення заслонів. Останні застосовують переважно у зимовий період для запобігання обмерзанню закритих каналів і ускладнень в експлуатації у випадку припинення подачі води зупиненим енергоблоком.

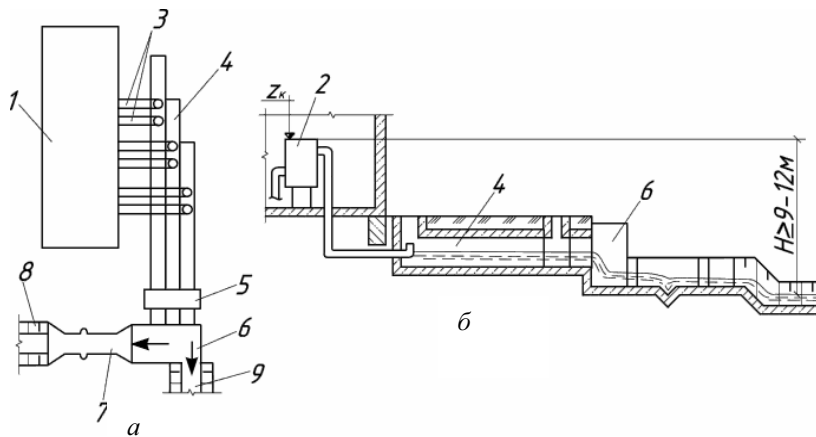


Рис. 6. Схема відповідного тракту циркуляційної СТВ ТЕС без сифонних споруд:
 а – план; б – вертикальна схема; 1 – ТЕС; 2 – конденсатор турбін ТЕС; 3 – зливний циркуляційний трубопровід; 4 – закритий відвідний канал; 5 – колодязь від'єднання закритих відвідних каналів; 6 – відкритий розподільчий канал; 7 – водомірна споруда звужувального типу; 8, 9 – скидний канал теплої води у верхову та низову частини водосховища; Z_k – позначка верха конденсатора

Ця схема має деякі переваги порівняно з існуючими. По-перше, завдяки влаштованому перепаду на ділянці відкритого відвідного каналу зменшується підпір води, а отже, полегшується перевірка з визначення технічного стану закритих залізобетонних каналів. Оскільки із зупиненням одного з енергоблоків зменшується подача циркуляційної води, то наповнення водою відвідного закритого каналу буде частковим. По-друге, у відвідному каналі, спрямованому до низової частини водосховища-охолодника, влаштовують стандартизовану водомірну споруду, яка дає змогу оперативно визначати витрату води в цьому каналі. Така інформація є вихідною для визначення теплового навантаження на різні частини акваторії ВО. Крім того, в стінках лотка передбачено також пази для встановлення заслонів, щоб у разі необхідності перерозподіляти ними скид води, а відтак і температуру води, по акваторії водосховища.

Для вимірювання витрат води розроблено стандартизовані лотки різних форм та канали звужувального типу. Зокрема, із застосуванням водомірного лотка Вентурі з бічним стисненням витрату води, $m^3/год$, визначають за формулою [6, с.323]:

$$Q = 6138 \cdot C_e \cdot C_v \cdot b \cdot h^{3/2}, \quad (4)$$

де C_e – коефіцієнт витікання, $C_e = f_3(h/b; h/l)$; h – напір води над дном лотка, м; b – ширина горловини лотка, м; l – довжина прямої вставки горловини, м; C_v – коефіцієнт швидкості, $C_v = f_4(b/B)$; B – ширина каналу, в якому встановлено лоток, м.

Висновки. Запропоновано нові конструкції споруд циркуляційних систем технічного водопостачання ТЕС, які удосконалюють ці системи та підвищують рівень їх експлуатації. Набір та вертикальне розміщення споруд відвідного тракту СТВ теплових електростанцій мають забезпечувати використання максимальної вакуумметричної висоти в цій системі, необхідний розподіл води в акваторії водосховища-охолодника, зручність обслуговування закритих відвідних каналів.

Розроблені графічні залежності спрощують визначення пропускної здатності шлюзів-регуляторів та розподіл охолоджуваної води в акваторію протічного водосховища-охолодника ТЕС.

1. ГКД 34.20.507-2003 *Технічна експлуатація електростанцій і мереж: Правила.* – К.: "ГРІФРЕ", 2003. – 597 с. 2. *Константинов Ю.М., Гіжа О.О. Інженерна гідравліка: Підручник.* – К.: Видавничий Дім "Слово", 2006. – 432 с. 3. *Справочник по гідравліке / Под ред. В.А. Большакова.* – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1984. – 343 с. 4. *Штеренлихт Д.В. Гідравліка: Учебник для вузов.* – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 640 с. 5. *Босак М.П., Мисак Й.С. Аналіз гідродинамічного режиму охолоджувальної води в конденсаторах турбін енергоблока і зливних водоводах // Енергетика і електрифікація (Київ).* – 2006. – № 3 (270). – С.22–25. 6. *Лобачев П.А., Шевелев Ф.А. Измерение расхода жидкостей и газов в системах водоснабжения и канализации.* – М.: Стройиздат, 1985. – 424 с.