

УДК 621.311.25

**О. М. Головченко, канд. техн. наук, доц.; О. І. Юношев****АДАПТАЦІЯ ЕНЕРГОБЛОКА ТЕС ДО ЗМІНИ  
ГІДРОЛОГІЧНОГО РЕЖИМУ ВОДОСХОВИЩА**

*Підвищення температури доквілля змінило гідрологічний режим водосховища ТЕС. Визначені параметри теплової схеми та обладнання блока Ладизинської ТЕС, адаптованого до наявного гідрологічного режиму водосховища.*

**Актуальність, мета та задачі**

Для проектування Ладизинської ТЕС за температуру доквілля взято осереднену температуру доквілля 50–60 років ХХ століття. Зараз ця температура помітно зросла, що призвело до роботи обладнання в нерозрахункових режимах і до недовироблення електроенергії.

Адаптація обладнання ТЕС до умов, що змінилися, є однією з актуальних задач модернізації станції. Підвищення температури доквілля відбилося, насамперед, на водосховищі, конденсаційній установці та на маслоохолодниках.

*Задачами цієї роботи є:*

1. Розробка математичних моделей блока Ладизинської ТЕС, маслоохолодника та водосховища.
  2. Дослідження гідрологічних режимів водосховища.
  3. Реконструкція системи маслоохолодження.
  4. Оптимізація конденсаційної установки та визначення економічних вакуумів.
- Розв'язання цих задач відбувалось в такій послідовності:

**1. Розроблення математичних моделей блока Ладизинської ТЕС,  
маслоохолодника, водосховища****1.1. Математична модель блока Ладизинської ТЕС**

Визначає витрати, тиски, ентальпії енергоносіїв на всіх ділянках теплової схеми блока, виконує перевірки розрахунки підігрівників мережної та живильної води, конденсаційної установки, розраховує питомі витрати палива і ККД блока, сумарні приведені затрати на капітальовкладення і вироблення електроенергії  $Z_{\Sigma}$ .

Вхідними параметрами є номінальні параметри котла, турбіни, поверхні і гідравлічні опори теплообмінників, питомі техніко-економічні характеристики устаткування. Схема блоку розраховується методом теплових балансів. Конденсаційна установка розраховується за методом ВТІ з поправками Харківського турбінного заводу [1].

**1.2. Математична модель маслоохолодника**

Модель, складена за методиками, описаними в [2, 3], визначає площу гладких та оребрених труб, ступінь оребрення, коефіцієнт теплопередачі, загальні гідравлічні втрати теплоносіїв, потужність електроприводів насосів, затрати на маслоохолодники. Початковими даними є конструктивні характеристики, значення швидкості руху теплоносіїв, ціна спожитої електроенергії, ціна матеріалу теплообмінної поверхні. Затрати на маслоохолодник визначаються як сума затрат на площу теплообміну та витрачену електроенергію на приводи насосів для прокачки теплоносіїв.

**1.3. Математична модель водосховища**

Модель, складена за методикою, наведеною в [4], визначає температури та випаровування води, льодовий режим, перепад палива на ТЕС через підвищення температури охолодної води над природною.

Початковими даними є середньомісячні значення теплового навантаження водосховища, аль-

бедо поверхні побережжя, перепади температур в конденсаторах, температури повітря, швидкості вітру, хмарність, атмосферний тиск, геометричні і географічні параметри водосховища.

В основу моделі покладено рівняння теплового балансу маси води водосховища. Складовими балансу є потоки поглинутих водою сонячної радіації і зустрічного випромінювання атмосфери, теплообмін водної маси з ґрунтом дна, витрата тепла на випаровування води з поверхні, теплообмін поверхні з атмосферою конвекцією, тепла з конденсаторів ТЕС.

Температура поверхні льоду водосховища визначається з рівняння повного теплового балансу цієї поверхні. В зимовий період виконується розрахунок площі термічної майни в місці випуску води з конденсаторів по рівнянню теплового балансу майни; враховується трансформація характеристик повітряної маси під час її руху над майною. Випаровування взимку розраховується окремо для майни і льодового покриття.

Дата очищення водосховища восени від льоду визначається двома шляхами: по таненню снігольодового покриття з поверхні по всій площі і по збільшенню площі термічної майни через танення кромки льодового покриття навкруги майни, з яких вибирається більш рання дата. Екран виведення результатів розрахунків показаний на рис. 1.

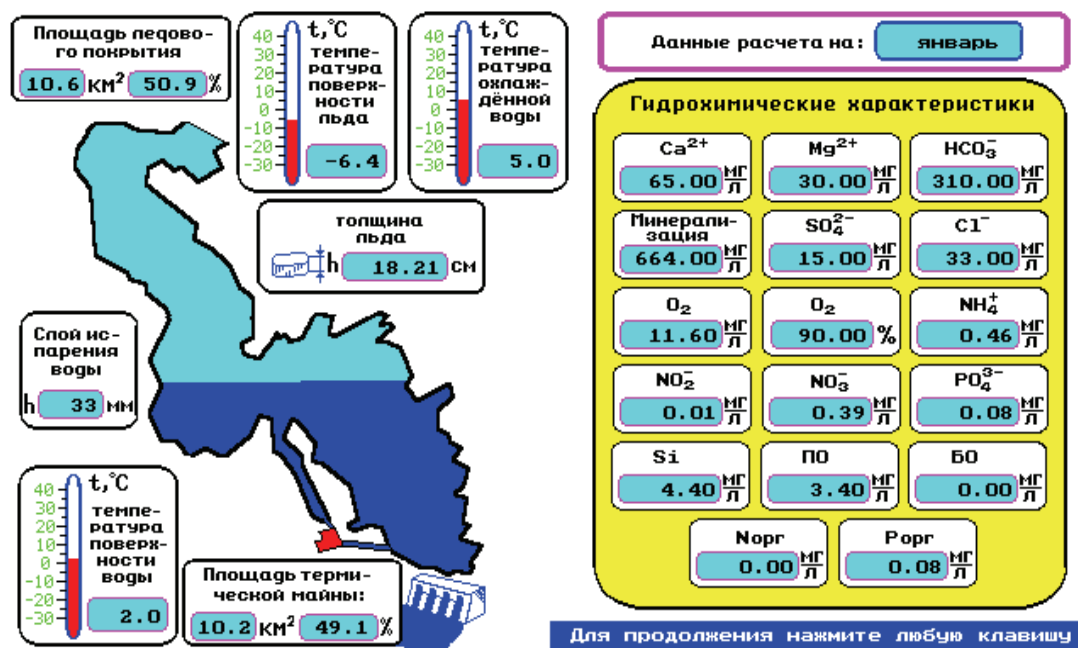


Рис. 1. Экран виведення результатів розрахунків

## 2. Дослідження гідрологічних режимів водосховища

Задачами дослідження були визначення температур води і льодового режиму водосховища із середніми температурами повітря 1960-х та 2000-х років. При цьому враховувалось, що температура води водосховища залежить від теплового навантаження і добових температур повітря, хмарності, швидкості вітру та інших метеорологічних характеристик довкілля.

Теплове навантаження водосховища визначається за формулою

$$q = \frac{N}{F} \cdot 1,5,$$

де  $N$  — електрична потужність ТЕС, Вт;  $F$  — площа водосховища, м<sup>2</sup>.

Для шести блоків 300 МВт теплове навантаження складає 129,8 Вт/м<sup>2</sup>, чотирьох —  $q = 86,5$  Вт/м<sup>2</sup>, двох блоків  $q = 43,25$  Вт/м<sup>2</sup>. Проектуючи водосховище, за розрахункове навантаження беруть  $q = 220$  Вт/м<sup>2</sup>.

Метеорологічні дані для розрахунків взяті з сайту Вінницької метеостанції. Графіки змін температур охолодженої води водосховища по місяцях в залежності від теплових навантажень показані на рис. 2–5. На рисунках верхні криві відповідають температурам води у водосховищі в 2000-ті роки, нижні криві відповідають температурам води у водосховищі в 1960-ті роки.

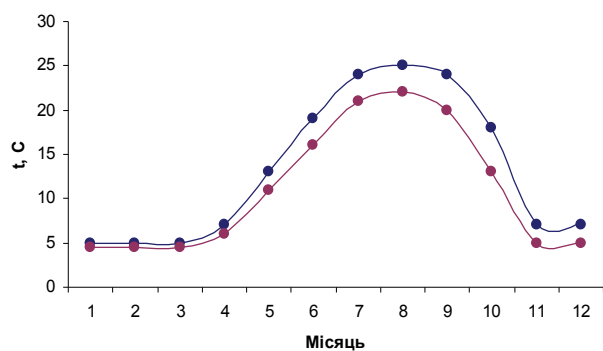


Рис. 2. Графік зміни температури охолодженої води водосховища по місяцях при тепловому навантаженні  $q = 43,25 \text{ Вт/м}^2$

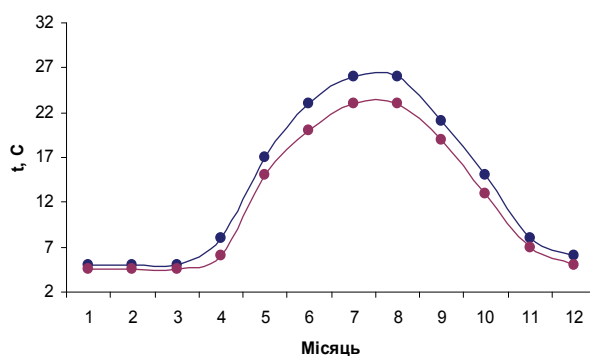


Рис. 3. Графік зміни температури охолодженої води водосховища по місяцях при тепловому навантаженні  $q = 86,5 \text{ Вт/м}^2$

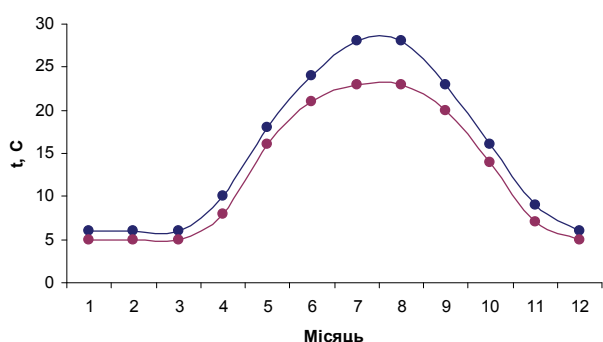


Рис. 4. Графік зміни температури охолодженої води водосховища по місяцях при тепловому навантаженні  $q = 129,8 \text{ Вт/м}^2$

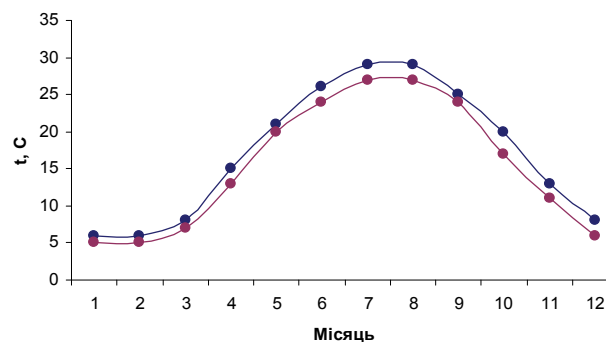


Рис. 5. Графік зміни температури охолодженої води водосховища по місяцях при тепловому навантаженні  $q = 220 \text{ Вт/м}^2$

Як випливає з рис. 4, у порівнянні із 1960-ми роками температура води у водосховищі піднялась на  $3,6 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Вплив температури довкілля та теплового навантаження на гідрологічний режим водосховища показаний у табл. 1.

Таблиця 1

**Вплив температури довкілля та теплового навантаження на гідрологічний режим водосховища**

Показники	$q = 0 \text{ Вт/м}^2$		$q = 43,25 \text{ Вт/м}^2$		$q = 86,5 \text{ Вт/м}^2$		$q = 129,8 \text{ Вт/м}^2$		$q = 220 \text{ Вт/м}^2$	
	1960-ті роки	2000-ті роки	1960-ті роки	2000-ті роки	1960-ті роки	2000-ті роки	1960-ті роки	2000-ті роки	1960-ті роки	2000-ті роки
Дата початку льодоставу	8,12	16,12	10,12	20,12	14,12	27,12	25,12	9,2	–	–
Дата очищення від льоду	2,4	30,3	2,4	30,3	29,3	21,3	27,3	14,3	0	0
Площа льодового покриття, $\text{км}^2$	20,8	20,6	14,423	12,871	10,707	7,436	5,353	3,718	0	0
Шар випареної води за рік, см	73,52	77,78	97,83	102,73	122,77	128,37	143,72	141,15	216,92	223,42
Максимальна товщина льоду, см	38,6	26,16	37,33	24,92	34,7	21,6	31	10,29	0	0

### 3. Реконструкція системи маслоохолодження

Задачею реконструкції є визначення параметрів маслоохолодників з підвищеною температурою охолодної води. Розглядалися варіанти маслоохолодників з поверхнями теплообміну з гладких та оребрених труб.

Основні характеристики існуючого варіанта маслоохолодника: витрата масла  $G_M = 79,5$  т/год; температура масла на вході  $t_{M1} = 54,17$  °С; температура масла на виході  $t_{M2} = 45$  °С; витрата води  $G_B = 140$  т/год; температура води на вході  $t_{B1} = 23$  °С; кількість ходів води  $Z_B = 4$ ; діаметри трубок  $d_3 / d_B = 16/14$  мм; крок розбивки трубок  $S_T = 0,02$  м; відстань між трубками  $y = 0,004$  м; кількість труб  $N = 600$  шт.; внутрішній діаметр корпусу охолодника  $D = 0,66$  м; відстань між перегородками  $h_1 = 0,085$  м; товщина перегородки  $\delta = 0,004$  м.

Характеристики оребрення: крок пластин  $S_P = 0,1$  м; товщина пластини  $\sigma = 0,001$  м.

Результати розрахунків варіантів маслоохолодника, виконаних за методикою [3], зведені в табл. 2.

Таблиця 2

Результати розрахунків варіантів маслоохолодника

Варіант маслоохолодника	Площа теплообміну $F$ , м <sup>2</sup>	Активна довжина труб $L$ , м	Потужність електроприводів насосів $N_{ел}$ , кВт	Загальний гідравлічний опір масляної сторони, $\Delta P_M$ , бар	Загальний гідравлічний опір водної сторони $\Delta P_B$ , бар
Існуючий	53,8	1,75	94,5	1,12	0,286
Із гладкими трубками	61,51	2,08	115,57	1,646	0,376
Із оребреними трубками	63,2	1,79	113,4	1,34	0,289

В цих розрахунках швидкості масла і води прийняті 1,2 та 1,58 м/с, відповідно. Результати оптимізації швидкостей масла і води показані на рис. 6–9.

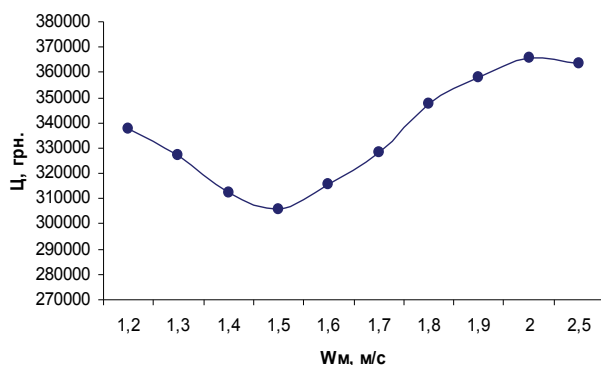


Рис. 6. Залежність витрат від швидкості масла в гладкотрубному маслоохолоднику

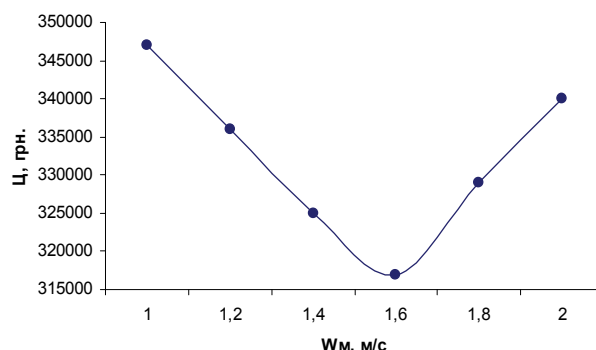


Рис. 7. Залежність витрат від швидкості масла в оребреному маслоохолоднику

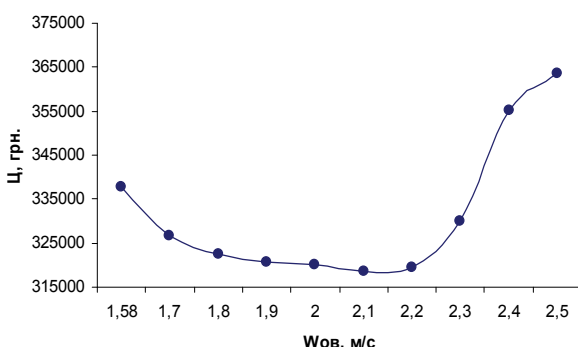


Рис. 8. Залежність витрат від швидкості охолодної води в гладкотрубному маслоохолоднику

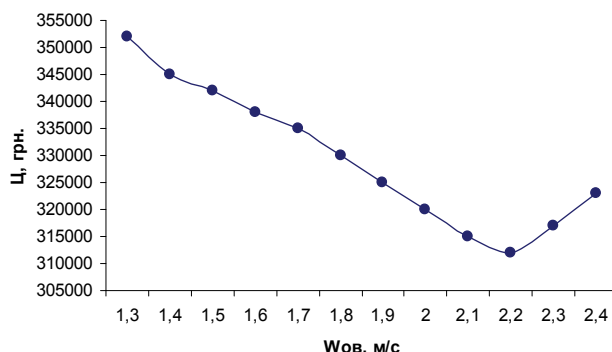


Рис. 9. Залежність витрат від швидкості охолодної води в оребреному маслоохолоднику

Як впливає з рис. 6 і рис. 8, значення оптимізованих швидкостей масла і охолодної води складають в гладкотрубному маслоохолоднику  $\omega_M = 1,5$  м/с;  $\omega_{ов} = 2,1$  м/с.

У маслоохолоднику з оребреними трубками значення оптимізованих швидкостей масла і охолодної води складають  $w_m = 1,6$  м/с;  $w_{об} = 2,2$  м/с (рис. 7 і рис. 9). Збільшення швидкостей масла і води знижує затрати на варіанти маслоохолодників та на їх поверхні теплообміну. Це дозволяє розмістити реконструйовані маслоохолодники в габаритах існуючих. Затрати на обидва варіанта маслоохолодника практично однакові. Перевагами маслоохолодника з гладкими трубами є менший гідравлічний опір з масляної сторони та більша зручність в експлуатації.

#### 4. Оптимізація конденсаційної установки та визначення економічних вакуумів

##### 4.1. Оптимізація конденсаційної установки

Базовий варіант конденсаційної установки розрахований на середньорічну температуру охолодної води 12 °С. В теперішній час середньорічна температура охолодної води становить 15,6 °С. Тому є доцільним визначити оптимальні конструктивні характеристики конденсатора для цієї температури охолодної води. За критерій якості установки взята сума приведених затрат

$$B_{\Sigma} = B_f + B_{ЦН} + B_{ТВС} + B_{ВО} + B_{СГУ} + B_{ЗАМ} \text{ (грн/рік)},$$

де  $B_{\Sigma}$ ,  $B_f$ ,  $B_{ЦН}$ ,  $B_{ТВС}$ ,  $B_{ВО}$ ,  $B_{СГУ}$ ,  $B_{ЗАМ}$  – приведені затрати відповідно на труби поверхні теплообміну конденсатора, енергію приводів циркуляційних насосів, систему техводопостачання, водоохолодник, на компенсацію відчужених сільгоспугідь і на вироблення електроенергії на заміщувальній електростанції.

Поверхня теплообміну конденсатора визначається за методикою, в якій коефіцієнт теплопередачі  $K$  обчислюється за емпіричною функцією

$$K = f(d, W, z, L, n, \lambda),$$

де  $d$  – внутрішній діаметр труб, мм;  $W$  – витрата охолодної води, т/год;  $z$  – число ходів;  $L$  – довжина труби, м;  $n$  – число труб;  $\lambda$  – коефіцієнт чистоти труб.

В розрахунках коефіцієнт чистоти труб приймається рівним 0,7, а незалежні змінні варіюються в межах:  $d$ , мм – [14–28];  $L$ , м – [8–20];  $z$  – [1–4];  $W$ , т/год – [10000–100000].  
Питомі затрати:

Вартість палива ..... 550 (грн/т);

Вартість 1 м<sup>2</sup> конденсатора ..... 3000 (грн);

Вартість 1 кВт·год ..... 55 (к.);

Оптимізація виконувалася на математичній моделі енергоблока варіантними розрахунками методом покоординатного спуску.

Результати оптимізації конденсаційної установки зведені в табл. 3.

Таблиця 3

Результати оптимізації конденсаційної установки

	Сумарні витрати $\Delta B_c$ , млн грн/рік	Площа теплообміну $F$ , м <sup>2</sup>	Активна довжина труб $L$ , м	Тиск $P_k$ , кПа	Число труб $n$	Витрата охолодної води $W$ , т/год
Базовий	0	15000	8,9	3,43	19892	34805
Оптимальний	-1,16	16264,7	8,6	3,33	21500	41000

В базовому та оптимальному варіантах число ходів  $z = 2$ , діаметри труб  $d$  дорівнюють 28 і 14 мм, відповідно. Як впливає з табл. 3, з підвищенням температури охолодної води помітно зросли її витрата та площа поверхні теплообміну.

##### 4. 2. Визначення економічних вакуумів існуючої конденсаційної установки

Чим більший вакуум в конденсаторі, тим більша потужність турбіни. Збільшити вакуум на працюючій турбіні можна збільшенням витрати охолодної води в конденсаторі. Проте збіль-

шення витрати охолодної води потребує більшої витрати електроенергії циркуляційними насосами. Задача визначення економічного вакууму полягає у знаходженні такого значення вакууму, за якого потужність, яка відпускається блоком в електромережу, буде максимальною. Економічний вакуум залежить від температури води водосховища.

На рис. 2–5 показані температури води водосховища по місяцях за різних його теплових навантаженнях. Відповідно до цих температур і навантажень за допомогою математичної моделі енергоблока визначені економічні вакууми, які зведені в табл. 4.

Таблиця 4

## Економічні вакууми

Теплове навантаження водосховища $q$ , Вт/м <sup>2</sup>	1. Витрата охолодної води $w$ , тис. т/год 2. Вакуум, мм рт. ст.	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
		43,25	1	20,2	21,8	22,7	27,1	33,0	75,0	81,0	82,2	74,0	39,9
	2	743	743	743	740	737	728	719	719	728	737	740	743
86,5	1	20,5	22,3	23,9	30,0	45,0	79,0	83,0	84,7	77,9	46,3	28,7	22,1
	2	743	741	741	740	739	721	720	718	723	736	740	743
129,8	1	21,7	22,9	24,9	33,0	52,9	83,1	86,1	86,8	81,2	54,7	32,0	24,6
	2	741	740	740	728	722	712	706	704	713	724	733	740
220	1	22,8	24,4	26,1	37,2	60,0	85,7	87,3	88,2	83,4	56,7	36,1	26,0
	2	734	733	733	725	721	707	703	701	712	728	731	733

## Висновки

1. Дослідження водосховища показали максимальне збільшення температури води на 3,6 °С. Для різних теплових навантажень водосховища виконані розрахунки по місяцях року температур води на вході в конденсатор, товщина льодового покриву, розміри майни, дата замерзання та сходу льоду на водосховищі.

2. Оптимізація маслоохолодників показала доцільність розробки маслоохолодника із гладкими трубками та збільшеною поверхнею теплообміну.

3. В результаті дослідження конденсаційної установки визначені оптимальні конструктивні параметри конденсатора та економічні вакууми для місяців року.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Головченко О. М. Оптимізація теплоенергетичних установок в процесі їх проектування та модернізації / О. М. Головченко, М. В. Пушкар // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2003. — № 6. — С. 227—235.
2. Бродов Ю. М. Маслоохладители в системах маслоснабжения паровых турбин : учеб. пос. / Ю. М. Бродов, К. Э. Аронсон, А. Ю. Рябчиков. — Екатеринбург : УГТУ. — 2006. — 103 с.
3. РТМ 108.020.126-80. Методика расчета и проектирования охладителей масла для систем маслоснабжения турбоустановок. — Л. : НПО ЦКТИ, 1982. — 76 с.
4. Браславский А. П. Тепловое влияние объектов теплоэнергетики на водную среду / А. П. Браславский, М. Н. Кумарина, М. Е. Смирнова. — Л. : Гидрометеиздат, 1989. — 252 с.

Рекомендована кафедрою відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів

Стаття надійшла до редакції 20.06.12

Рекомендована до друку 8.08.12

**Головченко Олексій Михайлович** — доцент кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

**Юношев Олександр Іванович** — інженер.

Ладизинська ТЕС, м. Ладизин