



УДК 621.18

## STUDY OF THE POSSIBILITY OF CONVERTING A STEAM BOILER INTO WATER HEATING MODE WITHOUT REDUCING ITS OPERATIONAL RELIABILITY

### ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ПЕРЕВЕДЕННЯ ПАРОВОГО КОТЛА В РЕЖИМ ВОДОГРІЙНОГО БЕЗ ЗНИЖЕННЯ ЙОГО ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ

Hlushchenko O.L. / Глущенко О.Л.

*s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-9230-9958

Kaistrya R.A./ Кайстрия Р.А.

*master's degree / магістр*

Dniprovsky State Technical University, Kamianske, Dneprostroyevskaia 2, 51918

Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське, Дніпробудівська 2, 51918

**Анотація.** В умовах ринкової економіки важливого значення набуває завдання зниження собівартості виробництва й споживання теплоенергії. Зниження витрати палива в теплотехнології – це не тільки важливий економічний захід для паливно-енергетичного комплексу країни, але й шлях значного зниження капіталоемкості теплотехнологічного і, особливо, теплотехнічного обладнання, капітальні витрати на які з розвитком енергетичного й технологічного процесу систематично збільшуються. В роботі розглядається доцільність та можливість переведення парового котельного агрегату типу Е на водогрійний режим роботи. Із цією метою виконуються тепловий і гідравлічний розрахунки котла й пропонується реконструкція системи циркуляція води в котлі. Отримані результати розрахунку підтверджують, що при мінімальних капітальних витратах можливо забезпечити необхідний підігрів води, а це в свою чергу забезпечить заощадження паливних ресурсів.

**Ключові слова:** водогрійний котел, опалювальна котельня, циркуляційний контур, теплова мережа, топкова камера, тепловий та гідравлічний розрахунки, мережний насос.

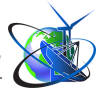
#### Вступ.

В умовах ринкової економіки важливого значення набуває завдання зниження собівартості виробництва й споживання теплоенергії.

Існуюча на сьогодні індустріальна база України працює неефективно, в першу чергу тому, що діючі технологічні схеми і обладнання виробництв мають низькі енергозберігаючі й ресурсозберігаючі технології. Тобто, вартість затрат енергії, що приходить на питомий продукт, набагато вища, ніж у країнах Європи.

Підвищення ефективності виробництва неможливе без режиму економії. У зв'язку з розвитком промисловості на базі створення високопродуктивних установок зросло значення процесів тепло- і масообміну з точки зору раціонального використання теплоенергетичних і сировинних ресурсів. Найважливішим технічним завданням виробництва є інтенсифікація технологічних процесів та економія сировини, особливо палива.

Зниження витрати палива в теплотехнології – це шлях до зниження капіталоемкості теплотехнологічного і, особливо, теплотехнічного обладнання, капітальні витрати на які з розвитком енергетичного й технологічного процесу систематично збільшуються.



### **Постановка задачі.**

Об'єктом розгляду є котел Е-1,0-0,9, встановлений у котельні виробничого підприємства. Завдяки даному котлу відбувається опалення допоміжних споруд. Пара, яка виробляється котлом, використовується для підігріву води, що споживається системою теплозабезпечення. Він призначений для роботи в закритій системі теплопостачання за графіком 75 - 90 °С.

З метою економії природного газу доцільно виконувати прямий нагрів води у водогрійному котлі. Із цією метою виконуються тепловий і гідравлічний розрахунки котла й пропонується реконструкція системи циркуляція води в котлі. Це дозволить при мінімальних капітальних витратах забезпечити необхідний підігрів води і заощадити паливо.

### **Результати роботи.**

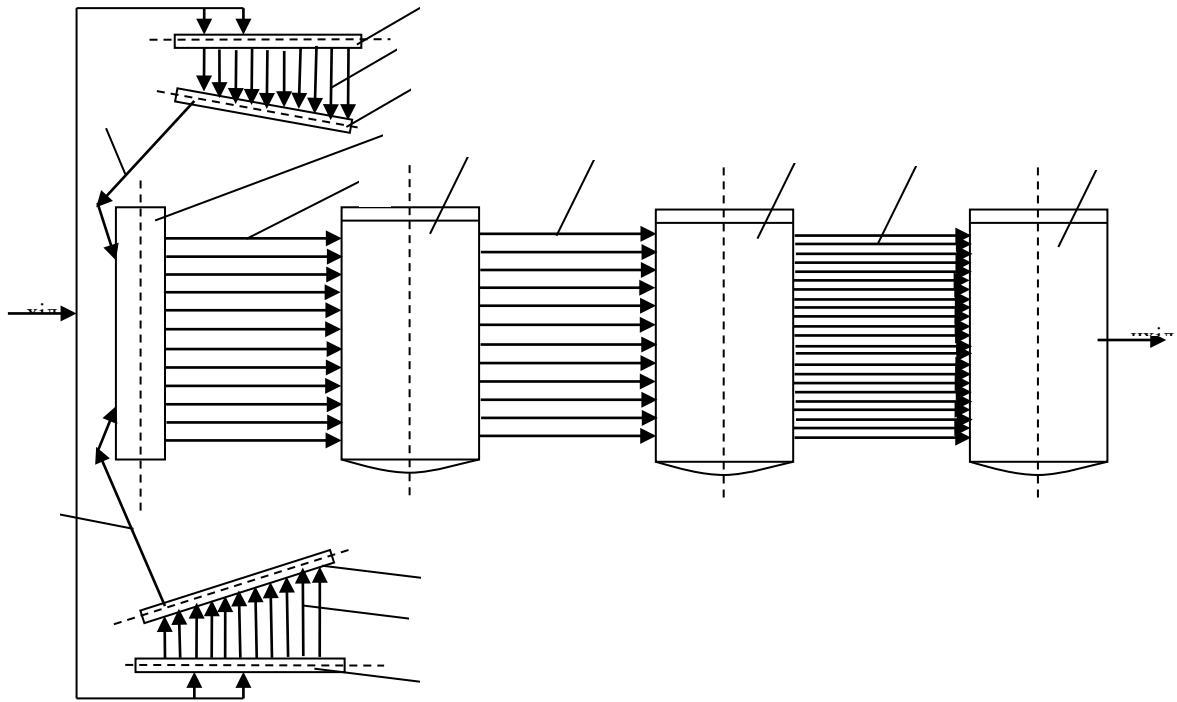
Об'єктом дослідження є котельний агрегат Е-1,0-0,9, який належить до типу вертикально - водотрубних, двохбарабанных із природною циркуляцією, призначений для виробітку насиченої пари тиском 0,9 МПа. Котел використовується для потреб опалення будинків технічних споруд. Технічна характеристика котельного агрегату представлена в [1].

Переобладнання котла зводиться, головним чином, до організації руху води з необхідними швидкостями, що забезпечують надійне охолодження труб поверхні нагрівання. Рух води в котлі здійснюється в такий спосіб: зворотна вода двома паралельними потоками подається в нижні колектори бічних екранів через чотири штуцери (по два на кожному колекторі, діаметром 51 × 3 мм) по трубах бічних екранів піднімається у верхні колектори. З верхніх колекторів бічних екранів вода направляєється через стояки в поперечний колектор. По поперечному колекторі й трубам стельового екрану вода попадає у верхній барабан котла, у якому встановлена перегородка для напрямку потоку в труби першого ряду конвективного пучка. По трубах першого ряду конвективного пучка вода опускається в нижній барабан і по інших трубах надходить у верхній барабан котла, звідки направляєється споживачеві.

Схема циркуляції води в котлі представлена на рисунку 1. Вихідні дані для розрахунку котельного агрегату представлені в таблиці 1.

Розрізняють конструктивний і перевірочний тепловий розрахунок. Для існуючого котлоагрегату виконують перевірочний розрахунок по наявних конструктивних характеристиках при заданих навантаженнях й паливі. При перевірочному розрахунку невідомі проміжні температури димових газів і внутрішнього середовища, кінцеві температури відхідних газів, підігріву повітря й іноді перегріву пари. Для виконання розрахунку доводиться задаватися цими температурами й уточнювати їх шляхом послідовних наближень. При розрахунку на початку визначають обсяги й ентальпії повітря й продуктів згоряння, ККД і витрату палива, а потім виконують розрахунок теплообміну в топковій камері й інших поверхонь нагрівання.

Розрахунок виконаємо на підставі нормативного методу теплового розрахунку котельних агрегатів [2]. Результати теплового розрахунку представлені в таблиці 2.



**Рисунок 1 — Схема циркуляції води у котлі Е-1,0-0,9**

1 — нижні колектори бокових екранів; 2 — труби бокових екранів; 3 — верхні колектори бокових екранів; 4 — стояки; 5 — поперечний колектор; 6 — труби стельового екрану; 7 — верхній барабан; 8 — труби I ряду конвективного пучка; 9 — нижній барабан; 10 — труби II – XI рядів конвективного пучка

**Таблиця 1 – Вихідні дані для теплового розрахунку котельного агрегату Е-1,0-0,9**

Найменування показника	Одиниці виміру	Значення величини
1	2	3
1. Паропродуктивність $D$	т/год.	1,0
2. Тиск пари в барабані $P_6$	МПа	0,48
3. Температура живильної води	°С	9
4. Паливо		Природний газ
5. Склад газу:	%	
- $CH_4$		98,9
- $C_2H_6$		0,3
- $C_3H_8$		0,1
- $C_4H_{10}$		0,1
- $N_2$		0,4
- $CO_2$		0,2
6. Теплота згорання палива, $Q_H^p$	кДж/м <sup>3</sup>	35880



**Таблиця 2 – Результати теплового розрахунку котельного агрегату Е-1,0-0,9 у водогрійному режимі роботи**

№ з/п	Назва величини	Позначення	Одиниці виміру	Розрахункове значення
1	2	3	4	5
<b>Розрахунок теплового балансу котла</b>				
1	Температура відхідних газів	$v_{\text{відх}}$	$^{\circ}\text{C}$	360
2	Ентальпія відхідних газів	$I_{\text{відх}}$	$\text{кДж/м}^3$	6378,3
3	Температура холодного повітря	$t_{\text{хп}}$	$^{\circ}\text{C}$	16
4	Ентальпія холодного повітря	$I_{\text{хп}}$	$\text{кДж/м}^3$	199,9
5	ККД котла	$\eta_{\text{к}}$	%	78,8
6	Температура води на вході	$t'$	$^{\circ}\text{C}$	70
7	Ентальпія води на вході	$i'$	$\text{кДж/кг}$	293,5
8	Температура води на виході	$t''$	$^{\circ}\text{C}$	95
9	Ентальпія води на виході	$i''$	$\text{кДж/кг}$	398,6
10	Витрата палива	$B$	$\text{м}^3/\text{с}$	0,027
<b>Розрахунок теплообміну в топці</b>				
11	Кількість теплоти, що вноситься до топки з повітрям	$Q_{\text{в}}$	$\text{кДж/м}^3$	299,89
12	Корисне тепловиділення у топці	$Q_{\text{т}}$	$\text{кДж/м}^3$	35930,5
13	Адіабатична температура горіння	$v_a$	$^{\circ}\text{C}$	1819
14	Температура газів на виході з топки	$v''_{\text{т}}$	$^{\circ}\text{C}$	1100
15	Ентальпія газів на виході з топки	$I''_{\text{т}}$	$\text{кДж/м}^3$	20503,8
16	Температура газів на виході з топки	$v''_{\text{т}}$	$^{\circ}\text{C}$	1090
17	Ентальпія газів на виході з топки	$I''_{\text{т}}$	$\text{кДж/м}^3$	20298,7
18	Сумарне теплосприймання топки	$\sum Q_{\text{л}}$	$\text{кДж/с}$	403,49
<b>Розрахунок конвективної частини котла</b>				
19	Температура газів на вході	$v'_1$	$^{\circ}\text{C}$	1090
20	Ентальпія газів на вході	$I'$	$\text{кДж/м}^3$	20298,7
21	Температура газів на виході	$v''_1$	$^{\circ}\text{C}$	725
22	Ентальпія газів на виході	$I''$	$\text{кДж/м}^3$	13421,1
23	Кількість теплоти, яка віддана газам	$Q_{\text{г1}}$	$\text{кДж/м}^3$	6584,5
24	Температура води на вході	$t'$	$^{\circ}\text{C}$	83
25	Температура води на виході	$t''$	$^{\circ}\text{C}$	95
26	Теплосприйняття поверхні по рівнянню теплопередачі	$Q_{\text{т1}}$	$\text{кДж/м}^3$	9720,17



При переведенні парового котла у прямотоковий водогрійний режим роботи для забезпечення циркуляції води у котлі необхідно підібрати циркуляційний насос. У зв'язку з цим в роботі виконано гідравлічний розрахунок котла за методикою, представленою в [2, 3].

Гідравлічний розрахунок, результати якого наведені у таблиці 3, виконується по окремим ділянкам тракту відповідно до схеми циркуляції води (рисунок 1):

- 1 ділянка — розподільна гребінка, що з'єднує основний трубопровід мережевого насосу з нижнім колектором за допомогою двох патрубків;
- 2 ділянка — від нижнього колектора до верхнього;
- 3 ділянка — від верхнього колектора до поперечного колектора;
- 4 ділянка — від поперечного колектора до входу у верхній барабан;
- 5 ділянка — від верхнього барабану до входу у нижній барабан;
- 6 ділянка — від нижнього барабану до входу у верхній барабан;
- 7 ділянка — трубопровід, що з'єднує верхній барабан з початковою точкою тепломережі.

Підсумковий гідравлічний опір  $\sum \Delta P$ , Па котла визначаємо за формулою:

$$\sum \Delta P = \sum \Delta P_1 + \sum \Delta P_2 + \sum \Delta P'_1 + \sum \Delta P'_2 + \sum \Delta P_3 + \sum \Delta P'_3 + \sum \Delta P_4 + \sum \Delta P_5 + \sum \Delta P_6 + \sum \Delta P_7, \quad (1)$$

$$\sum \Delta P = 2 \cdot 10137,11 + 2 \cdot 42,3 + 2 \cdot 6279,74 + 577,49 + 330,1 + 2,05 + 4116,79 = 37944,73 \text{ Па} \approx 38 \text{ кПа.}$$

Вибір мережного насосу здійснюється на підставі розрахункових сумарного перепаду тиску в тепловій мережі та сумарного гідравлічного опору котла, які відповідно складають 136,6 кПа та 38 кПа.

Таким чином, сумарна втрата тиску в цілому на мережі, враховуючи сумарний гідравлічний опір котла складає 175 кПа.

Втрата води в тепломережі складає 26 м<sup>3</sup>/год. Цим характеристикам відповідає односхідцевий відцентровий насос Wilo IPN 65/160-5,5/2 (65 мм — діаметр патрубка, що приєднується; 55 Вт — потужність електродвигуна; 160 мм — діаметр робочого колеса; 2 — тип захисту електродвигуна) із щільним ущільнювачем, що ковзає. Температура середовища — від -10 °С до + 140 °С; робочий тиск: 13 · 10<sup>5</sup> Па - до 140 °С; 16 · 10<sup>5</sup> Па - до 120 °С. ККД двигуна 85 %.

**Таблиця 3 – Результати гідравлічного розрахунку котельного агрегату Е-1,0-0,9 у водогрійному режимі**

№ з/п	Назва величини	Позначення	Одиниці виміру	Розрахункове значення
1	2	3	4	5
<b>Ділянка 1</b>				
1	Витрата води	$G$	кг/с	3.595
2	Швидкість води	$\omega$	м/с	2,33
3	Втрати на тертя	$\Delta P_{TR}$	Па	131,65
4	Втрати на місцевих опорах	$\Delta P_{m1}$	Па	10005,16
5	Сума втрат	$\sum \Delta P_1$	Па	10137,11



## Продовження таблиці 3

1	2	3	4	5
<b>Ділянка 2</b>				
6	Витрата води	$G$	кг/с	0,2115
7	Швидкість води	$\omega$	м/с	0,14
8	Втрати на тертя	$\Delta P_{TP}$	Па	6,18
9	Втрати на місцевих опорах	$\Delta P_m$	Па	36,12
10	Сума втрат	$\sum \Delta P_2$	Па	42,3
<b>Ділянка 3</b>				
11	Витрата води	$G$	кг/с	3,6
12	Швидкість води	$\omega$	м/с	2,33
13	Втрати на тертя	$\Delta P_{TP}$	Па	882,06
14	Втрати на місцевих опорах	$\Delta P_m$	Па	5397,68
15	Сума втрат	$\sum \Delta P_3$	Па	6279,74
<b>Ділянка 4</b>				
16	Витрата води	$G$	кг/с	0,6536
17	Швидкість води	$\omega$	м/с	0,42
18	Втрати на тертя	$\Delta P_{TP}$	Па	81,28
19	Втрати на місцевих опорах	$\Delta P_m$	Па	496,21
20	Сума втрат	$\sum \Delta P_3$	Па	577,49
<b>Ділянка 5</b>				
21	Витрата води	$G$	кг/с	0,5136
22	Швидкість води	$\omega$	м/с	0,33
23	Втрати на тертя	$\Delta P_{TP}$	Па	36,97
24	Втрати на місцевих опорах	$\Delta P_m$	Па	293,13
25	Сума втрат	$\sum \Delta P_3$	Па	330,1
<b>Ділянка 6</b>				
26	Витрата води	$G$	кг/с	0,0521
27	Швидкість води	$\omega$	м/с	0,03
28	Втрати на тертя	$\Delta P_{TP}$	Па	0,26
29	Втрати на місцевих опорах	$\Delta P_m$	Па	1,79
30	Сума втрат	$\sum \Delta P_3$	Па	2,05
<b>Ділянка 7</b>				
31	Витрата води	$G$	кг/с	7,19
32	Швидкість води	$\omega$	м/с	1,48
33	Втрати на тертя	$\Delta P_{TP}$	Па	186,12
34	Втрати на місцевих опорах	$\Delta P_m$	Па	3930,67
35	Сума втрат	$\sum \Delta P_3$	Па	6,79

**Висновки.**

В даній роботі проведено переобладнання котельного агрегату, а саме, переведення його з парового режиму роботи у водогрійний. З цією метою



виконаний тепловий розрахунок котла у водогрійному режимі роботи; зроблено гідравлічний розрахунок котла при прямоточному русі води, отримані дані по гідравлічному опорі котла, які використовуються при виборі мережного насосу. Отримані результати показують ефективний рівень роботи котельного агрегату при переобладнанні його з парового режиму роботи у водогрійний і дає можливість при мінімальних капітальних витратах забезпечити необхідний підігрів води і заощадити паливо.

### Література:

1. Інструкція з реконструкції котла Е-1,0-0,9 для використання як водогрійний котел. - Кам'янське, 2017. - 95 с.
2. Квятковська Ю.П., Літовко Б.М., Марчик М.О. Котельні установки промислових підприємств: Навчальний посібник. – Кривий Ріг, 2016. – 231 с.
3. Степанов Д.В. Котельні установки промислових підприємств: навчальний посібник / Д.В. Степанов, Є.С. Корженок, Л.А. Боднар. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 120 с.

***Abstract.** In the conditions of a market economy, the task of reducing the cost of production and consumption of thermal energy becomes important. Reducing fuel consumption in heat technology is not only an important economic measure for the fuel and energy complex of the country, but also a way to significantly reduce the capital intensity of heat technology and, especially, heat technology equipment, the capital costs of which systematically increase with the development of the energy and technological process. The paper examines the expediency and possibility of switching the E-type steam boiler unit to water-heating mode of operation. For this purpose, thermal and hydraulic calculations of the boiler are performed and reconstruction of the water circulation system in the boiler is proposed. The obtained calculation results confirm that with minimal capital costs, it is possible to provide the necessary water heating, and this, in turn, will ensure the saving of fuel resources.*

***Key words:** water heating boiler, heating boiler room, circulation circuit, heating network, combustion chamber, thermal and hydraulic calculations, network pump.*

Стаття відправлена: 15.12.2023р.

© Глущенко О.Л.