

*Термoeкономiчне порiвняння систем
автономного
тепlopостачання з використанням теплових
насосiв*

Шифр: тепло

<i>Вступ</i>	<i>3</i>	
<i>1. Схеми систем гарячого водопостачання</i>		<i>6</i>
<i>2. Розрахунок показників енергоефективності бівалентної тепло насосної установки с догріванням мережевої води у бойлері</i>		<i>8</i>
<i>2.1. Вихідні дані.</i>	<i>8</i>	
<i>2.2. Розрахунок режимних параметрів.</i>		<i>8</i>
<i>2.3. Розрахунок показників ексергетичного аналізу.</i>		<i>12</i>
<i>2.4. Розрахунок термoeкономiчних параметрів</i>		<i>19</i>
<i>3. Розрахунок показників енергоефективності бівалентної установки з догріванням в теплогенераторах.</i>		<i>21</i>
<i>3.1. Використання газового котла.</i>		<i>21</i>
<i>3.2. Використання електричного котла.</i>		<i>22</i>
<i>Висновки</i>	<i>24</i>	
<i>Використані джерела</i>	<i>25</i>	

ВСТУП

Для використання максимуму потенціалу теплових енергоресурсів необхідна реалізація когенераційного вироблення механічної роботи і теплоти, як це має місце при функціонуванні теплоелектроцентралей (ТЕЦ). Проте централізоване тепlopостачання від ТЕЦ пов'язане із значними втратами теплоти при її транспортуванні до віддаленого споживача. Для зниження вказаних втрат доводиться використовувати велику кількість систем автономного тепlopостачання, в яких у переважній більшості, ексергетичний потенціал спалюваного палива витрачання тільки на середньо температурній нагрів теплоносія (50-100 °C) без генерації механічної роботи.

Чим нижчий рівень нагріву теплоносія в автономному теплогенераторі, тим менше вимагається ексергії для реалізації цього нагріву. Проте при спалюванні палива відсутня бажана еквівалентність необхідного приросту ексергії для потоку нагріваючого середовища і потоку продуктів згорання через велику різницю температур між вказаними потоками.

Існує альтернативний спосіб теплопостачання , який припускає формування потоку гарячого теплоносія з мінімально необхідної кількості ексергії . Подібну ексергію можна відбирати з природних або скидних техногенних потоків теплоти з додаванням деякої частини додаткової ексергії від зовнішніх джерел , необхідної для компенсації витрат на реалізацію підвищуючої термотрансформації відповідно до другого закону термодинаміки. Подібний спосіб теплопостачання реалізується в пристроях , які називаються тепловими насосами. Використання теплових насосів перспективне в комбінованих системах при поєднанні з іншими технологіями використання поновлюваних джерел енергії – сонячною і геотермальною . Можливості і економічна доцільність застосування теплових носіїв і установок залежить від кліматичних особливостей регіону , рівень розвитку паливно-енергетичного сектора , співвідношення цін на основні види палива і електроенергії та інших чинників .

Енергетична ефективність теплових насосів залежить від характеристик теплових джерел , що беруть участь в термотрансформації : від температурного рівня нагріву середовища споживача теплового навантаження і від температури

находження утилізованого низько потенційного середовища . Рівень нагріву середовища споживача теплоти залежить від цільового призначення теплопостачання , і найкращі техніко економічні результати , як правило , відповідають застосування тепло насосних систем для побутового гарячого водопостачання.

Застосування теплових насосів для опалювальних цілей ефективно тільки для системи «м'якого режиму» , наприклад , для повітряних або водяних систем підлогового опалення . Адаптація теплових насосів до характеристик батарейного опалювання для регіонів країн з середньо зимовою температурою нижче -2°C пов'язана з використанням бівалентних теплонасосних установок , в яких догрівання теплоносія забезпечуються традиційними теплогенеруючими пристроями .

Можливість використання в теплопостачанні потоків низько потенційних вторинних енергоресурсів значно розширює ресурсну базу теплопостачання , робить її менш залежною від постачань паливних ресурсів. Задіявши тепловий насос , що працює на джерелах природної теплоти (атмосферне повітря , природні води) , ми немов умовно забезпечили системи теплопостачання паливним ресурсів на 10-20 років її роботи .

У даний час велика увага приділяється енергоаудиту і реконструкції існуючих автономних систем тепlopостачання на базі традиційної теплогенеруючої техніки. Аналіз стану подібних систем показує, що вони мають низьку технічну і економічну ефективність. Це є наслідком фізичного зносу морального застарілого водонагрівального котельного устаткування малої теплопродуктивності (400-700 кВт) з експлуатаційним к.к.д. 60-70%. Через відсутність необхідної водо підготовки знижується експлуатаційна надійність котлів, зростають витрати на ремонтно-відновлювані роботи і під живлення теплових мереж внаслідок відкритого водозабору. Для подібних систем собівартість вироблення теплоти достатньо висока і в 2-2,5 раза більша вартості витраченого палива.

У свою чергу, теплові насоси характеризуються високою вартістю капітальних витрат, що становлять віз 200-500 \$ США за 1 кВт теплопродуктивність. Зважаючи на це, реалізацію проектів тепlopостачання із застосуванням тепло насосних систем вимагає їх техніко - економічного зіставлення с системами традиційного типу.

Ефективність кожної з систем , що зіставляються , залежить від багатьох чинників і при порівнянні необхідно враховувати не тільки показники енергоефективності , але і показники реального економічного ефекту . Подібний комплексний підхід закладений в методології термoeкономічного аналізу , на базі якого можливо виконати порівняння показників різних систем теплопостачання з подальшим проведенням оптимізаційних розрахунків.

Використання термoeкономіки (ексергоекономіки) і її категорії значно полегшує ухвалення рішення про доцільність застосування теплових насосів і дає можливість встановити межі пріоритету в порівнянні з іншими системами теплопостачання.

В Україні , що має обмежені запаси паливних ресурсів , застосування теплових насосів повинне розглядатися як один з пріоритетних напрямів енергозбереження.

Мета даного дослідження складається з визначення показників енергоефективності й установлення оптимального варіанту догрівуючого устаткування для бівалентної теплонасосної установки .

Завданням даного дослідження являється :

- визначення показників ексергетичного аналізу для порівняння схем систем гарячого водопостачання .

- термoeкономiчнi порiвняння схемних рiшень .

Практичний напрямок роботи : використання отриманих результатів для створення і апробації розрахункової методики проектування теплонасосних систем .

1 СХЕМИ ГОРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

На рисунку 1.1 приведено загальну схему бівалентної теплонасосної установки.

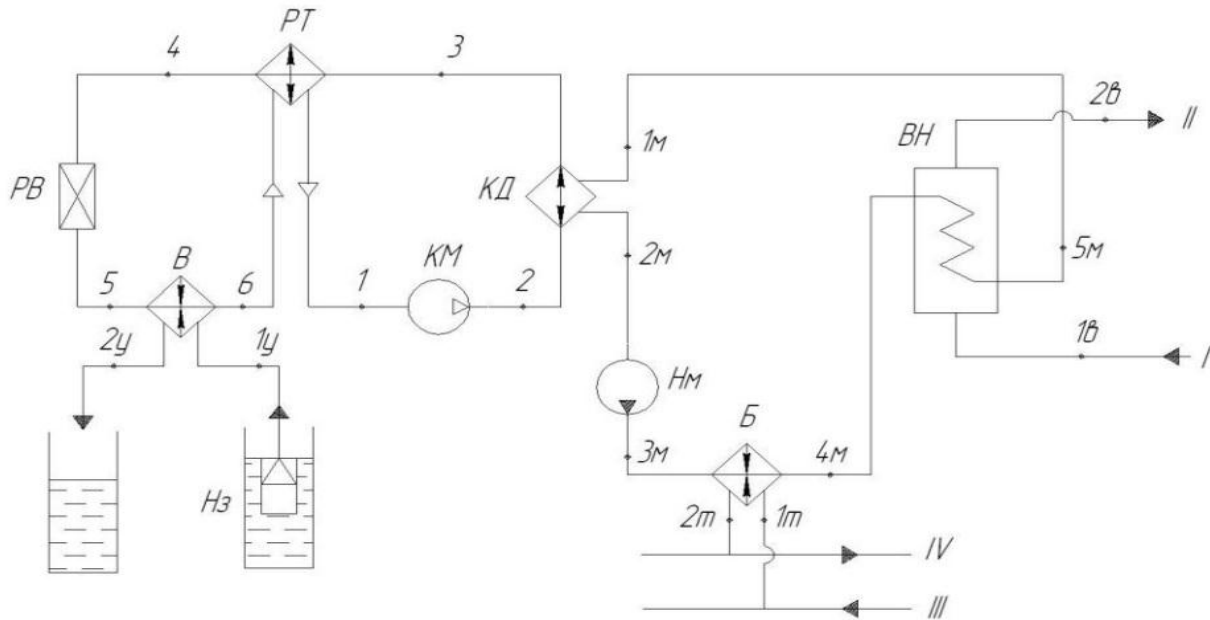


Рисунок 1.1. Загальна схема БТНУ.

Дана теплонасосна установка призначена для системи горячого водопостачання, а саме для нагріву санітарної води в діапазоні станів точок 1в – 2в. Вказаний нагрів реалізується за рахунок теплообміну з мережевою водою, яка нагрівається в конденсаторі теплового насоса, а потім догрівається теплогенераторі (бойлер, газовий або електричний котел). Підведення низькопотенціальної теплоти до робочої речовини у випарнику забезпечується шляхом прокачування ґрунтової води

через приймальну і скидну свердловини насосу занурного. Умовні позначення на рисунку 1.1: КМ – компресор; КД – конденсатор; РТ – регенеративний теплообмінник; РВ – регулюючий вентиль; В – випарник; ГТ – ґрунтовий теплообмінник; Б – бойлер; ВН – водонагрівач санітарної води; Нз – насос занурний; Нм – насос мережевий. I – лінія підведення холодної санітарної води; II – лінія подачі гарячої води споживачеві; III – лінія подачі зовнішнього теплоносія (пряма); IV – лінія відведення зовнішнього теплоносія (зворотна).

На рисунках 1.2, 1.3, 1.4 приведено різні схемні рішення систем гарячого водопостачання:

- підігрів мережевої води у бойлері;*
- підігрів мережевої води у газовому котлі;*
- підігрів мережевої води у електричному котлі.*

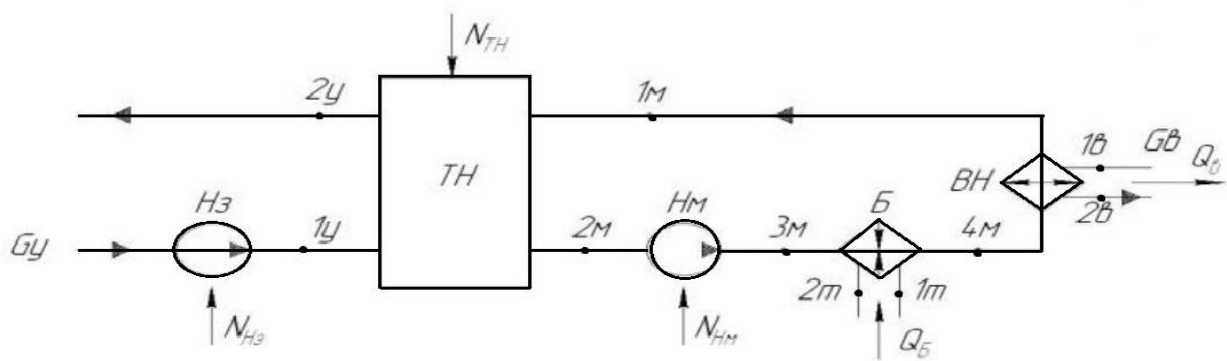


Рисунок 1.2. Схема БТНУ з підігрівом мережевої води у бойлері.

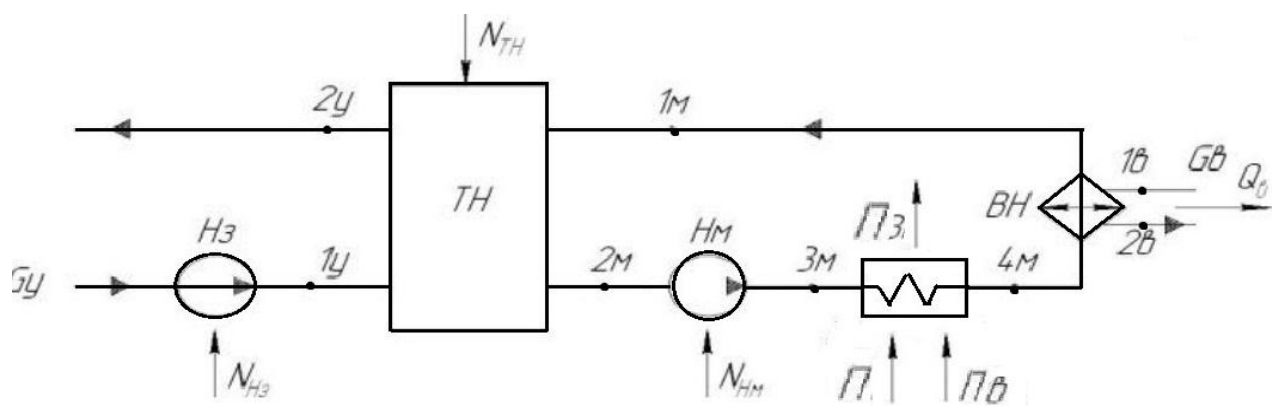


Рисунок 1.3. Схема БТНУ з підігрівом мережевої води у газовому котлі.

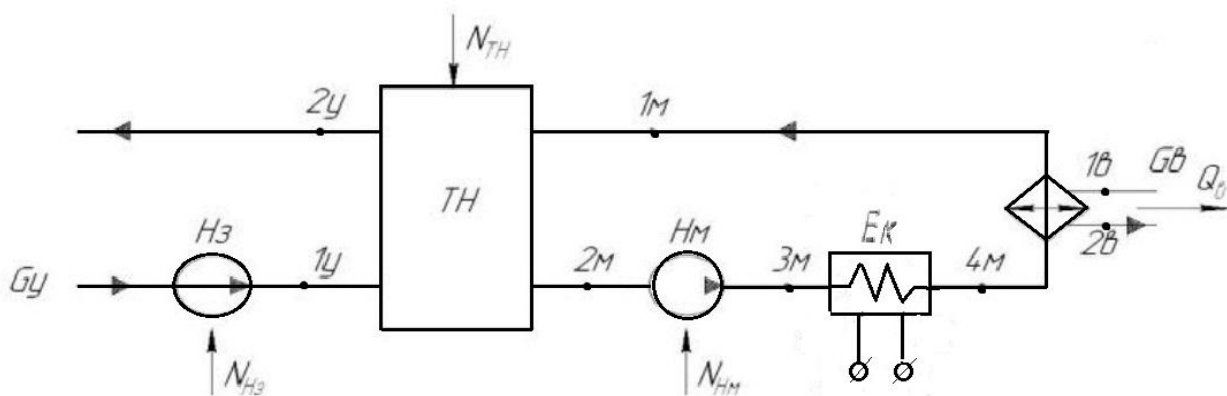


Рисунок 1.4. Схема БТНУ з підігрівом мережевої води у електричному котлі.

2 РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БТНУ З

ДОГРІВАННЯМ МЕРЕЖЕВОЇ ВОДИ У БОЙЛЕРІ

2.1 Вихідні дані приведено в таблицях 2.1 та 2.2.

Таблиця 2.1

Фірма «VIESSMANN» Теплові насоси VITOCAL 300/350	Мережева вода БТНУ			Санітарна вода		групова	ВОДА	на
	$t_{1м}$	$t_{2м}$	$t_{4м}$	$t_{1є}$	$t_{2є}$	$t_{1у}$	L_z (H)	
Тип	°C	°C	°C	°C	°C	°C	м	
WW232	36	45	60	10	55	8	30	

Таблиця 1.2

Теплоносій		τ_p	$p_{5м}$	$p_{1м}$	Δp_m^B	$p_{1є}$	$\Delta p_є^{BH}$	$p_{1у}$
$t_{1м}$	$t_{2м}$							
°C	°C	ГОД	кПа	кПа	кПа	кПа	кПа	кПа
90	70	2400	150	200	65	280	5	120

З каталогу [3] для насоса типу WW 232 для робочої точки

$w(t_{1у})/w(t_{2м})$ обираємо:

– теплопродуктивність $\dot{Q}_{ТН} = 39,2$ кВт;

– холодопродуктивність $\dot{Q}_0 = 30$ кВт;

– споживана електрична потужність $N_{ТН} = 9,2$ кВт.

2.2 Розрахунок режимних параметрів

2.2.1 Розрахунок параметрів контуру мережевої води (гріючого контуру)

- *Визначаємо витрату мережевої води*

$$G_M = \frac{\dot{Q}_{TH}}{c_M|_{t_{1,M}}^{t_{2,M}} \cdot (t_{2,M} - t_{1,M})},$$

де $c_M|_{t_{1,M}}^{t_{2,M}}$ - середня теплоємність води в інтервалі температур $t_{1,i}$ і $t_{2,M}$,

$$G_M^A = \frac{39,2}{4,174 \cdot (45 - 36)} = 1,043 \text{ (кг / с)};$$

- *Визначаємо теплове навантаження на водонагрівач*

$$\dot{Q}_{ВП} = \dot{Q}_{tot} = G_M \cdot c_M|_{t_{1,M}}^{t_{4,M}} \cdot (t_{4,M} - t_{1,M}).$$

$$\dot{Q}_{ВП} = \dot{Q}_{tot} = 1,043 \cdot 4,174 \cdot (60 - 36) = 104,48 \text{ кВт};$$

тут \dot{Q}_{tot} характеризує повну теплопродуктивність бівалентної ТНУ.

- *Визначаємо теплове навантаження на бойлер*

$$\dot{Q}_B = \dot{Q}_{tot} - \dot{Q}_{TH}$$

$$\dot{Q}_B = 104,48 - 39,2 = 65,28 \text{ кВт};$$

- *На базі значень $\dot{Q}_{ВП}$ і \dot{Q}_B визначаємо відповідно масові витрати санітарної води, що нагрівається, і теплоносія з зовнішньої теплової мережі*

$$G_g = \frac{\dot{Q}_{ВП}}{c_g \Big|_{t_{1g}}^{t_{2g}} \cdot (t_{2g} - t_{1g})}$$

$$G_m = \frac{\dot{Q}_B}{c_m \Big|_{t_{1m}}^{t_{2m}} \cdot (t_{1m} - t_{2m})}$$

$$G_g = \frac{104,48}{4,174 \cdot (55 - 10)} = 0,556 (\text{кг} / \text{с});$$

$$G_m = \frac{65,28}{4,197 \cdot (90 - 70)} = 0,777 (\text{кг} / \text{с});$$

- Для визначення тиску у вузлових точках контуру мережевої води БТНУ необхідно з каталогу [3] вибрати значення гідродинамічного опору теплового насоса по гріючому контуру, які відповідають опору в конденсаторі, $\Delta p_{КД} = 130 \text{ Мбар} = 13 \text{ кПа}$.
- Сумарний гідродинамічний опір у контурі мережевої води розглядається у вигляді залежності

$$\Delta p_{\text{м}} = (1 + a_0 + \zeta_B + \zeta_{ВН}) \cdot \Delta p_{КД},$$

де a_0 - коефіцієнт втрат в потоці мережевої води на ділянці від водонагрівача до входу в конденсатор;

ζ_B - узагальнений коефіцієнт втрат в бойлері і на ділянці між конденсатором і бойлером;

$\zeta_{ВН}$ - узагальнений коефіцієнт втрат у водонагрівачі і на ділянці від бойлера до водонагрівача.

У свою чергу

$$\zeta_B = a_1 \cdot \frac{t_{4,m} - t_{2,m}}{t_{2,m} - t_{1,m}}, \quad \zeta_{BH} = a_2 \cdot \frac{t_{4,m} - t_{1,m}}{t_{2,m} - t_{1,m}}.$$

Для розрахунків приймаємо припущення: $a_0 = a_1 = a_2 = 1,1$.

$$\zeta_B = 1,1 \cdot \frac{60 - 45}{45 - 36} = 1,833 \quad \zeta_{BH} = 1,1 \cdot \frac{60 - 36}{45 - 36} = 2,933$$

$$\Delta p_m = (1 + 1,1 + 1,833 + 2,933) \cdot 13 = 89,25 \text{ кПа}$$

- *Значення тисків у вузлових точках обчислюються за формулами*

$$p_{1,m} = p_{5,m} - a_0 \cdot \Delta p_{КД} = 150 - 1,1 \cdot 13 = 135,7 \text{ кПа},$$

$$p_{2,m} = p_{1,m} - \Delta p_{КД} = 135,7 - 13 = 122,7 \text{ кПа},$$

$$p_{3,m} = p_{2,m} + \Delta p_m = 122,7 + 89,25 = 211,95 \text{ кПа},$$

$$p_{4,m} = p_{3,m} - \zeta_B \cdot \Delta p_{КД} = 211,95 - 1,833 \cdot 13 = 188,12 \text{ кПа}.$$

- *Споживана потужність насосу мережевої води (електрична)*

$$N_{HM} = \frac{G_m \cdot \Delta p_m}{\rho_m \cdot \eta_H \cdot \eta_{e/dv}},$$

де ρ_m - густина мережевої води при температурі $t_{2,m}$;

η_H - к.к.д. насоса (орієнтовно $\eta_H = 0,65$);

$\eta_{e/dv}$ - к.к.д. електродвигуна (вибираємо з каталогу $\eta_{e/dv} = 0,84$).

$$N_{HM} = \frac{1,043 \cdot 89250}{990,15 \cdot 0,65 \cdot 0,84} = 172,2 \text{ Вт};$$

2.2.2 Розрахунок параметрів у контурі ґрунтової води

З каталогу для заданого типу теплового насосу вибираємо мінімальну витрату ґрунтової води в первинному контурі

$V_{зв,\min} = 7800 \text{ л/год}$, а також гідродинамічний опір, у випарнику,

$\Delta p_B = 120 \text{ мбар} = 12 \text{ кПа}$.

- Визначаємо максимально-допустиму різницю температур ґрунтової води у випарнику для номінальної холодопродуктивності

$$\Delta t_{H,\max} = \frac{\dot{Q}_0}{c_y \cdot \dot{V}_{зв,\min} \cdot \rho_y},$$

де \dot{Q}_0 - холодопродуктивність теплового насосу;

c_y - теплоємність води при температурі t_{1y} ($c_y = 4,195 \text{ кДж/(кг К)}$);

ρ_y - густина води при температурі t_{1y} ($\rho_y = 999,8 \text{ кг/м}^3$).

$$\Delta t_{H,\max} = \frac{30 \cdot 3600}{4,195 \cdot 7,8 \cdot 999,8} = 3,3^\circ \text{C}$$

- Допустима температура води на виході з випарника

$$t_{2y,\min} = t_{1y} - \Delta t_{H,\max} = 8 - 3,3 = 4,7^\circ \text{C}$$

Приймаємо $t_{2y} = t_{1y} - 5^\circ \text{C} = 8 - 5 = 3^\circ \text{C}$, умова $t_{2y} < t_{2y,\min}$ виконується.

- Сумарний гідродинамічний опір у первинному контурі теплонасосної установки

$$\Delta p_y = \Delta p_B + \Delta p_H,$$

де Δp_H - гідродинамічний опір підйому і переміщення ґрунтової води при перепаді геодезичних висот, H .

Для розрахунку Δp_H використовуємо рівняння

$$\Delta p_H = \rho_y \cdot g \cdot H + (1 + \zeta_y) \cdot \frac{\rho_y \cdot w_y^2}{2},$$

де $\rho_y = 999,8 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ - густина ґрунтової води при температурі t_{1y} ;

$w_y = 0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ - середня швидкість води у напірному трубопроводі;

$\zeta_y = 4,5$ - узагальнений коефіцієнт втрат всмоктувального вузла (фільтра) і напірного трубопроводу

$$\Delta p_H = 999,8 \cdot 9,81 \cdot 30 + (1 + 4,5) \cdot \frac{999,8 \cdot 0,5^2}{2} = 294,59 \text{кПа}$$

- Масова витрата ґрунтової води:

$$G_y = \frac{\dot{Q}_0}{\bar{c}_y \cdot (t_{1y} - t_{2y})},$$

де \bar{c}_y - середня питома теплоємність рідини в інтервалі температур t_{1y} і t_{2y} .

$$G_y = \frac{30}{4,2 \cdot (8 - 3)} = 1,43 \text{ (кг / с)}.$$

- Об'ємна витрата ґрунтової води:

$$\dot{V}_y = \frac{G_y}{\rho_y} = \frac{1,43}{999,8} = 0,0014 \text{ (м}^3 \text{ / с)}.$$

де ρ_y - густина води при температурі t_{1y} .

- Тиск ґрунтової води:

$$p_{2y} = p_{1y} - \Delta p_B = 120 - 12 = 108 \text{ (кПа)}$$

- Сумарний гідродинамічний опір у первинному контурі теплонасосної установки

$$\Delta p_y = \Delta p_B + \Delta p_H = 12 + 294,59 = 306,59 \text{ кПа,}$$

- Споживана (електрична) потужність занурного насоса для перекачки ґрунтової води через випарник

$$N_{Hp} = \frac{V_y \cdot \Delta p_y}{\eta_H \cdot \eta_{\text{эл/дв}}} = \frac{0,0014 \cdot 306590}{0,65 \cdot 0,84} = 786 \text{ Вт}$$

де ρ_{2y} - густина води при температурі t_{2y} ;

η_H - ККД насоса;

$\eta_{\text{эл/дв}}$ - ККД електродвигуна.

2.3 Розрахунок показників ексергетичного аналізу

2.3.1. Розрахунок ексергетичних потоків

Згідно схеми енергопотоків БТНУ (рисунок 1.2) усі компоненти зв'язані між собою рідинними потоками. Тому для розрахунку питомої ексергії і різниці питомих ексергій рідинного потоку можна

використовувати нижченаведені вирази:

$$e = c_f \cdot \left[(T - T_{o.c.}) - T_{o.c.} \cdot \ln \frac{T}{T_{o.c.}} \right] + \frac{p - p_{o.c.}}{\rho_f},$$

В цьому рівнянні:

c_f - питома теплоємність рідини, осереднена в інтервалі температур

T і $T_{o.c.}$;

ρ_f - густина рідини, осереднена в тих же інтервалах температур.

Для розрахунку питомої ексергії приймаємо:

$$p_{o.c.} = 100 \text{кПа}, \quad T_{o.c.} = 263 \text{К}$$

Результати розрахунків зводимо в таблицю 2.3.1.

Таблиця 2.3.1 Розрахунки ексергетичних потоків.

Точки	t	G	p	e	E
	°C	кг/с	кПа	кДж/кг	кВт
1м	36	1,043	135,7	15,232	15,887
2м	45	1,043	122,7	21,176	22,086
3м	45	1,043	211,95	21,274	22,188
4м	60	1,043	188,12	33,528	34,969
1м	90	0,777	200	63,694	49,49
2м	70	0,777	135	42,509	33,029
1у	8	1,43	120	2,505	3,582
2у	3	1,43	108	1,355	1,937
1в	10	0,556	280	3,239	1,8
2в	55	0,556	275	29,1	16,177

2.3.2 Розрахунок ексергетичної ефективності БТНУ

Схема ексергетичних перетворень для повної системи представлена на рисунку 2.3.2.

Ексергетична ефективність в загальному випадку знаходиться по формулі:

$$\varepsilon_{ex} = \frac{E_P}{E_F},$$

де E_P – ексергія потоку продукта;

E_F – ексергія потоку палива.

Деструкція ексергії знаходиться за формулою:

$$E_D = E_F - E_P$$

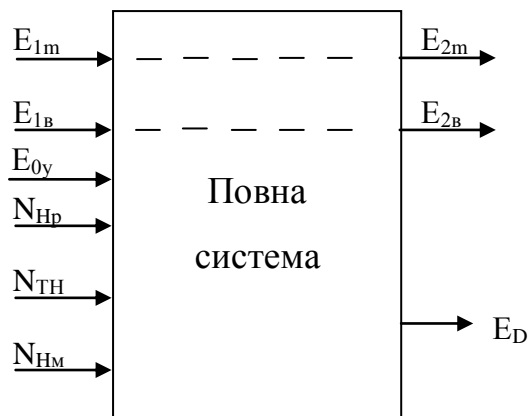


Рисунок 2.3.2 Загальна схема ексергетичних перетворень.

Ексергетична ефективність повної системи:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{tot} &= \frac{E_{2g} - E_{1g}}{N_{Hp} + N_{TH} + N_{Hm} + (E_{1m} - E_{2m})} = \\ &= \frac{16,177 - 1,8}{0,786 + 9,2 + 0,172 + (49,49 - 33,029)} = 0,54\end{aligned}$$

Деструкція ексергії повної системи:

$$\begin{aligned}E_{D,tot} &= E_{1y} + N_{TH} + N_{Hm} + E_{1m} - E_{2m} - E_{2g} + E_{1g} = \\ &= 3,582 + 9,2 + 0,1722 + (49,49 - 33,029) - (16,177 + 1,8) = 15,038 \text{ кВт}\end{aligned}$$

2.3.3 Розрахунок економічних показників БТНУ

Економічна модель енергоперетворюючої системи, що застосовується до термoeкономiчного аналізу, характеризується узагальненим параметром Z , що являє собою вартість експлуатації, грн/год

$$Z = Z^{CI} + Z^{EN} + Z^{OM},$$

де Z^{CI} - складова, пов'язана з капітальними (інвестиційними) витратами;

Z^{EN} - складова, що враховує витрати на вхідну енергію для функціонування системи (елементу);

Z^{OM} - складова, що враховує витрати на обслуговування.

У свою чергу годинна вартість інвестиційних витрат, записується у вигляді

$$Z^{CI} = \frac{K_o}{PWF \cdot \tau_p}, \text{ грн/год}$$

де K_0 - первинна вартість капітальних витрат з урахуванням супутніх складових (транспортування, монтаж і ін.);

τ_p - розрахункове число годин роботи установки протягом одного року;

PWF - чинник поточної вартості, що дисконтується (облік динамічних властивостей інвестиційного капіталу).

Розрахунок чинника PWF виконується по формулі:

$$PWF = \frac{q^{\tau_A} - 1}{q^{\tau_A} \cdot d},$$

де $q = 1 + d$ - фактор дисконтування;

d - річна ставка дисконту;

τ_A - число років повернення інвестицій.

Для розрахунку приймати $d = 0,1$; $\tau_A = 10$ років.

Для термoeкономічних розрахунків величину K_0 або беруть з прайс-листів на окремі компоненти теплонасосної установки, або розраховують через питому вартість по характерному параметру.

Для складової Z^{EN} при роботі ТНУ в бівалентному режимі з бойлером розрахункове рівняння має вигляд:

$$Z^{EN} = c_{e/e} \cdot \sum N_{THU} + c_m \cdot G_m \cdot \frac{z_{PH}}{z_{OD}}$$

де $c_{e/e}$ - ціна електроенергії з ПДВ, $\frac{z_{PH}}{кВт \cdot з}$;

u_m - ціна теплоносія, $\frac{\text{грн}}{\text{тона}}$;

G_m - витрата теплоносія, $\frac{\text{тона}}{\text{год}}$;

$\sum N_{THV}$ - сумарна потужність електропостачання, кВт.

Загальне рівняння для складової Z^{OM} має вигляд:

$$Z^{OM} = \frac{\sum C^{OM}}{\tau_p} \cdot \frac{\text{грн}}{\text{год}},$$

де $\sum C^{OM}$ - сумарна вартість річних витрат на ремонт та обслуговування установки.

Для розрахунків можна прийняти:

$$Z^{OM} = (0,2 - 0,3) \cdot Z^{EN},$$

Приймаємо:

$$u_{e/e} = 0,875 \frac{\text{грн}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}},$$

$$u_{1\text{с}} = 7 \frac{\text{грн}}{\text{т}},$$

$$u_m = 12 \frac{\text{грн}}{\text{т}}.$$

Капітальні затрати для ТН.

Фактор дисконтування:

$$q = 1 + d = 1 + 0,1 = 1,1.$$

Фактор PWF :

$$PWF = \frac{q^{\tau_A} - 1}{q^{\tau_A} \cdot d} = \frac{1,1^{10} - 1}{1,1^{10} \cdot 0,1} = 6,145.$$

Первинна вартість капітальних витрат з урахуванням супутніх складових ТН:

$$K_0^{TH} = 14203 \cdot 1,5 = 21304,5 \text{ € або } K_0^{TH} = 232219 \text{ грн.}$$

Годинна вартість інвестиційних витрат:

$$Z_{TH}^{CI} = \frac{232219}{6,145 \cdot 2400} = 15,75 \frac{\text{грн}}{\text{год}}.$$

Аналогічно проводимо розрахунок капітальних витрат для насоса занурного і насоса мережевої води та для водонагрівача. Розрахунок для бойлера приведений нижче. Отриманий результат приведено в таблиці 2.3.3. Приймаємо, що коефіцієнт теплопередачі для пластинчатого ТО:

$$k_B = 1500 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Логарифмічний напір:

$$\Delta \bar{t} = \frac{\Delta t_{\bar{o}} - \Delta t_{\bar{m}}}{\ln \frac{\Delta t_{\bar{o}}}{\Delta t_{\bar{m}}}} = \frac{(90 - 60) - (70 - 45)}{\ln \frac{(90 - 60)}{(70 - 45)}} = 27,5^\circ \text{C}.$$

Площа ТО:

$$F = \frac{\dot{Q}_B}{k_B \cdot \Delta \bar{t}} = \frac{65,28 \cdot 10^3}{1500 \cdot 27,5} = 1,58 \text{ м}^2,$$

Первинна вартість капітальних витрат на бойлер з урахуванням супутніх складових:

$$K_0^B = 50 \cdot 1,58 \cdot 1,5 = 118,5 \text{ € або } K_0^B = 1291,65 \text{ грн.}$$

Годинна вартість інвестиційних витрат:

$$Z_B^{CI} = \frac{K_0^B}{PWF \cdot \tau_p} = \frac{1291,65}{6,145 \cdot 2400} \approx 0,08 \frac{\text{грн}}{\text{год}}$$

Коефіцієнт j^k :

$$j^k = \frac{K_0^k}{\sum K_0^k}.$$

Розрахуємо витрати на вхідну енергію для функціонування

БТНУ:

Сумарна потужність електропостачання:

$$\sum N_{THV} = 9,2 + 0,786 + 0,1772 = 10,163 \text{ кВт.}$$

$$\sum Z^{EN} = (u_{\text{г/г}} \cdot \sum N_{THV} + u_m \cdot G_m + u_{1\text{с}} \cdot G_s),$$

$$\sum Z^{EN} = (0,875 \cdot 10,163 + 12 \cdot 3,6 \cdot 0,777 + 5 \cdot 3,6 \cdot 0,556) = 52,47 \frac{\text{грн}}{\text{год}}.$$

Таблиця 2.3.3 Результати розрахунку економічних показників

Компонент системи	K_0^k , грн	j^k	Z_k^{CI} , $\frac{\text{грн}}{\text{год}}$	Z_k^{EN} , $\frac{\text{грн}}{\text{год}}$	Z_k^{OM} , $\frac{\text{грн}}{\text{год}}$	Z_k , $\frac{\text{грн}}{\text{год}}$
ТН	232219	0,6275	15,75	32,92	8,23	56,91
Нз	1927,7	0,0054	0,13	0,27	0,07	0,47
Нм	57682,8	0,1558	5,2	8,17	2,04	15,41
ВН	76910,4	0,2078	3,9	10,90	2,72	17,52

<i>Б</i>	<i>1291,65</i>	<i>0,0035</i>	<i>0,08</i>	<i>0,17</i>	<i>0,045</i>	<i>0,295</i>
<i>БТНУ</i>	<i>370031,55</i>	<i>1</i>	<i>25,06</i>	<i>52,47</i>	<i>13,10</i>	<i>90,6</i>

Складова на вхідну енергію по компонентам:

$$Z_k^{EN} = j_k \cdot \sum Z^{EN} .$$

Сумарні витрати на обслуговування установки:

$$\sum Z^{OM} = (0.2 \div 0.3) \cdot \sum Z^{EN} = 0,25 \cdot 52,47 = 13,12 \frac{зрн}{год} .$$

Складова на обслуговування по компонентам:

$$Z_k^{OM} = j_k \cdot \sum Z^{OM} .$$

Загальний параметр Z_k :

$$Z_k = Z_k^{CI} + Z_k^{EN} + Z_k^{OM} .$$

2.3.4 Складання балансових рівнянь ексергетичної вартості

Для насосу зануреного:

$$c_{1y} \cdot E_{1y} = u_{\varepsilon} \cdot N_{H3} + c_{0y} \cdot E_{0y} + Z_{H3} ,$$

$$c_{1y} \cdot 3,582 = 0,875 \cdot 0,786 + 0 + 0,47 ,$$

$$c_{1y} \cdot 3,582 = 1,1577$$

$$c_{1y} = 0,323$$

Для ТН:

$$c_{2m} \cdot E_{2m} + c_{2y} \cdot E_{2y} = c_{1m} \cdot E_{1m} + c_{1y} \cdot E_{1y} + u_{e/e} \cdot N_{TH} + Z_{TH} ,$$

$$c_{1y} = c_{2y}$$

$$c_{2y} \cdot 1,937 - c_{1m} \cdot 15,88 + c_{2m} \cdot 22,086 = 0,875 \cdot 9,2 + 56,91 + 0,323 \cdot 3,582,$$

$$c_{2m} \cdot 22,086 - c_{1m} \cdot 15,887 = 65,5.$$

Для насосу мережевого:

$$c_{3m} \cdot E_{3m} = c_{2m} \cdot E_{2m} + \eta_{e/e} \cdot N_{Hc} + Z_{Hc},$$

$$c_{3m} \cdot 22,188 - c_{2m} \cdot 22,086 = 0,875 \cdot 0,1722 + 15,41,$$

$$c_{3m} \cdot 22,188 - c_{2m} \cdot 22,086 = 15,56.$$

Для бойлера:

$$c_{4m} \cdot E_{4m} + c_{2m} \cdot E_{2m} = c_{3m} \cdot E_{3m} + c_{1m} \cdot E_{1m} + Z_B,$$

$$c_{4m} \cdot 34,969 - c_{3m} \cdot 22,188 - c_{1m} \cdot 49,49 + c_{2m} \cdot 33,029 = 0,295,$$

$$c_{2m} = c_{1m} = c_m = \frac{3,6 \cdot \eta_m}{e_{1m}} = \frac{3,6 \cdot 12}{63,694} = 0,678 \frac{\text{гРН}}{\text{кВт} \cdot \text{год}},$$

$$c_{4m} \cdot 34,969 - c_{3m} \cdot 22,188 - 0,678 \cdot (49,49 - 33,029) = 0,295,$$

$$c_{4m} \cdot 34,969 - c_{3m} \cdot 22,188 = 11,901$$

Для водонагрівача:

$$c_{1m} \cdot E_{5m} + c_{2g} \cdot E_{2g} = c_{4m} \cdot E_{4m} + c_{1g} \cdot E_{1g} + Z_{BH},$$

$$c_{1m} \cdot 15,887 - c_{1m} \cdot 34,969 - c_{1g} \cdot 1,8 + c_{2g} \cdot 16,177 = 17,52,$$

$$c_{1g} = \frac{3,6 \cdot \eta_{1g}}{e_{1g}} = \frac{3,6 \cdot 7}{3,239} = 7,78 \frac{\text{гРН}}{\text{кВт} \cdot \text{год}} \quad \dot{i}, c_{1m} = c_{4m},$$

$$c_{2g} \cdot 16,177 - c_{1m} \cdot 19,082 = 31,524$$

Для системи вцілому:

$$c_{2e} \cdot E_{2e} + c_{2m} \cdot E_{2m} = u_3 \cdot (N_{Hp} + N_{Hc} + N_{TH}) + c_{1e} \cdot E_{1e} + c_{1m} \cdot E_{1m} + c_{\dot{Q}} \cdot E_{\dot{Q}} + Z_{tot}$$

$$Z_{tot} = 90,6 \frac{\text{грн}}{\text{год}},$$

$$c_{2e} \cdot 16,177 + 0,678 \cdot 33,029 = 0,875 \cdot (0,786 + 0,1722 + 9,2) + 7,78 \cdot 1,8 + 0,678 \cdot 49,49 + 0 + 90,6$$

$$c_{2e} = 7,705 \frac{\text{грн}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}.$$

Отримані рівняння зводимо в систему:

$$\begin{cases} c_{1y} = 0,323 \\ c_{2m} \cdot 22,086 - c_{1m} \cdot 15,887 = 65,5 \\ c_{3m} \cdot 22,086 - c_{2m} \cdot 22,086 = 15,56 \\ c_{4m} \cdot 34,969 - c_{3m} \cdot 22,188 = 11,907 \\ c_{2e} \cdot 16,177 - c_{1m} \cdot 19,082 = 31,524 \\ c_{2e} = 7,705 \end{cases} \dots \begin{cases} c_{1y} = 0,323 \\ c_{1m} = 4,114 \\ c_{2m} = 5,924 \\ c_{3m} = 6,598 \\ c_{4m} = 4,52 \\ c_{2e} = 7,705 \end{cases} \frac{\text{грн}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}.$$

2.4 Розрахунок термoeкономiчних параметрiв

Визначення ексергетичної цiни палива та продукту.

Для ТН:

$$c_F = \frac{u_{e/e} \cdot N_{TH} + c_{1y} \cdot E_{1y} - c_{2y} \cdot E_{2y}}{N_{TH} + E_{1y} - E_{2y}} = \frac{0,875 \cdot 6,1 + 76 \cdot 1,43 - 76 \cdot 0,73}{6,1 + 1,43 - 0,73} = 8,61 \frac{\text{грн}}{\text{кВт} \cdot \text{год}},$$

$$c_P = \frac{c_{2m} \cdot E_{2m} - c_{1m} \cdot E_{1m}}{E_{2m} - E_{1m}} = \frac{14,93 \cdot 10,75 - 8,27 \cdot 7,04}{10,75 - 7,04} = 27,6 \frac{\text{грн}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}.$$

Цiна втрат:

$$C_D = c_F \cdot E_D = 8,61 \cdot 3,07 = 26,4 \frac{\text{грн}}{\text{год}}.$$

Вiдносна рiзниця цiни продукту i палива:

$$r = \frac{c_P - c_F}{c_F} = \frac{27,6 - 8,61}{8,61} = 2,21.$$

Ексергоекономiчний фактор:

$$f = \frac{Z}{Z + C_D} = \frac{43,8}{43,8 + 26,4} = 0,624.$$

Аналогічно проводимо розрахунок для інших компонентів

системи, отриманій результат приведено в таблиці 2.3.5..

Таблиця 2.4 Результати розрахунку термoeкономічних параметрів.

Компо- нент	$C_P, \frac{\text{грн}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$	$C_F, \frac{\text{грн}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$	$C_D, \frac{\text{грн}}{\text{год}}$	$Z, \frac{\text{грн}}{\text{год}}$	$(C_D + Z), \frac{\text{грн}}{\text{год}}$	r	f	ε
ТН	10,56	0,44	1,35	56,91	58,26	23	0,97	0,54
Нз	2,74	0,875	0,32	0,47	0,79	2,13	0,597	0,57
Нм	152,53	0,875	0,06	15,41	15,47	173,32	0,99	0,59
ВН	7,695	4,85	22,81	17,52	24,33	0,58	0,43	0,75
Б	0,91	0,678	2,5	0,295	2,79	0,342	0,1	0,77
БТНУ	174,435	7,72	27,04	90,6	101,64	199,37	3,087	0,54

**З РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БТНУ
З ДОГРІВАННЯМ В ТЕПЛОГЕНЕРАТОРІ**

3.1 Використання газового котла

Розрахунок економічних показників БТНУ з використанням газового котла.

Таблиця 3.1.1 Результати розрахунку економічних показників

<i>Компонент системи</i>	$K_0^k, \text{грн}$	j^k	$Z_k^{CI}, \frac{\text{грн}}{\text{год}}$	$Z_k^{EN}, \frac{\text{грн}}{\text{год}}$	$Z_k^{OM}, \frac{\text{грн}}{\text{год}}$	$Z_k, \frac{\text{грн}}{\text{год}}$
<i>ТН</i>	<i>232219</i>	<i>0,6275</i>	<i>15,75</i>	<i>65,037</i>	<i>16,26</i>	<i>97,05</i>
<i>Нз</i>	<i>1927,7</i>	<i>0,0054</i>	<i>0,13</i>	<i>0,645</i>	<i>0,17</i>	<i>0,94</i>
<i>Нм</i>	<i>57682,8</i>	<i>0,1558</i>	<i>5,2</i>	<i>16,125</i>	<i>4,03</i>	<i>24,35</i>
<i>ВН</i>	<i>76910,4</i>	<i>0,2078</i>	<i>3,9</i>	<i>21,5</i>	<i>5,3</i>	<i>30,7</i>
<i>ГК</i>	<i>15316</i>	<i>0,0035</i>	<i>1,031</i>	<i>4,192</i>	<i>1,05</i>	<i>6,27</i>

<i>БТНУ</i>	<i>383955,9</i>	<i>1</i>	<i>26,011</i>	<i>107,5</i>	<i>26,875</i>	<i>160</i>
-------------	-----------------	----------	---------------	--------------	---------------	------------

$$\sum Z^{EN} = (0,875 \cdot 10,163 + 3 \cdot 3,6 \cdot 8,2 + 5 \cdot 3,6 \cdot 0,556) = 107,5 \frac{\text{грн}}{\text{год}}$$

Визначення ексергетичної ціни палива та продукту (для БТНУ з газовим котлом).

Таблиця 3.1.2 Результати розрахунку термoeкономiчних параметрiв

<i>Компонент</i>	$C_P, \frac{\text{грн}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$	$C_F, \frac{\text{грн}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$	$C_D, \frac{\text{грн}}{\text{год}}$	$Z, \frac{\text{грн}}{\text{год}}$	$(C_D + Z), \frac{\text{грн}}{\text{год}}$	<i>r</i>	<i>f</i>	ε
<i>ТН</i>	<i>10,56</i>	<i>0,44</i>	<i>1,35</i>	<i>97,05</i>	<i>98,4</i>	<i>23</i>	<i>0,97</i>	<i>0,54</i>
<i>Нз</i>	<i>2,74</i>	<i>0,875</i>	<i>0,32</i>	<i>0,94</i>	<i>1,26</i>	<i>2,13</i>	<i>0,597</i>	<i>0,57</i>
<i>Нм</i>	<i>152,53</i>	<i>0,875</i>	<i>0,06</i>	<i>24,35</i>	<i>24,41</i>	<i>173,32</i>	<i>0,99</i>	<i>0,59</i>
<i>ВН</i>	<i>7,695</i>	<i>4,85</i>	<i>22,81</i>	<i>30,7</i>	<i>53,51</i>	<i>0,58</i>	<i>0,43</i>	<i>0,75</i>
<i>ГК</i>	<i>11,74</i>	<i>0,319</i>	<i>19,98</i>	<i>6,27</i>	<i>26,24</i>	<i>35,8</i>	<i>0,24</i>	<i>0,15</i>
<i>БТНУ</i>	<i>185,26</i>	<i>7,36</i>	<i>44,52</i>	<i>160</i>	<i>203,82</i>	<i>234,83</i>	<i>3,28</i>	<i>0,165</i>

Вiдносна ексергiя палива

$$e_{\text{нал}} = \alpha \cdot Q_{\text{н}}^c = 0,95 \cdot 35,6 = 33,82 \cdot 10^3 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$$

$$E_{\text{нал}} = e_{\text{нал}} \cdot G_2 = 33820 \cdot \frac{8,2}{3600} = 77,03 \text{ кВт}$$

Визначення ексергетичної ціни палива та продукту

$$c_p = \frac{u_{e/e} \cdot E_{нал} + u_{e/e} \cdot \sum N_{TH} + Z_{tot}}{E_p} = \frac{3 \cdot 77,03 + 0,875 \cdot 10,15 + 160}{14,377} = 11,74 \text{ кВт}$$

$$c_F = \frac{u_{газ} \cdot 3,6}{e_{нал}} = 0,319 \frac{\text{грн}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$$

Ціна втрат:

$$C_D = c_F \cdot E_D.$$

Відносна різниця ціни продукту і палива:

$$r = \frac{c_p - c_F}{c_F}.$$

Ексергоекономічний фактор:

$$f = \frac{Z}{Z + C_D}.$$

Ексергетична ефективність повної системи

$$\varepsilon = \frac{E_{26} + E_{16}}{\sum N + E_{нал}} = \frac{14,377}{10,15 + 77,03} = 0,165$$

3.2 Використання електричного котла

Розрахунок економічних показників БТНУ з використанням електрокотла.

Таблиця 3.2.1 Результати розрахунку економічних показників

<i>Компонент системи</i>	$K_0^k, \text{грн}$	j^k	$Z_k^{CI}, \frac{\text{грн}}{\text{год}}$	$Z_k^{EN}, \frac{\text{грн}}{\text{год}}$	$Z_k^{OM}, \frac{\text{грн}}{\text{год}}$	$Z_k, \frac{\text{грн}}{\text{год}}$
<i>ТН</i>	<i>232219</i>	<i>0,6275</i>	<i>15,75</i>	<i>51,12</i>	<i>0,12</i>	<i>79,64</i>
<i>Нз</i>	<i>1927,7</i>	<i>0,0054</i>	<i>0,13</i>	<i>0,5</i>	<i>3,168</i>	<i>0,75</i>

<i>Нм</i>	<i>57682,8</i>	<i>0,1558</i>	<i>5,2</i>	<i>12,67</i>	<i>4,22</i>	<i>21,038</i>
<i>ВН</i>	<i>76910,4</i>	<i>0,2078</i>	<i>3,9</i>	<i>16,9</i>	<i>0,823</i>	<i>25,02</i>
<i>ЕК</i>	<i>15487</i>	<i>0,0035</i>	<i>1,031</i>	<i>3,3</i>	<i>1,05</i>	<i>5,154</i>
<i>БТНУ</i>	<i>383955,9</i>	<i>1</i>	<i>26,011</i>	<i>84,5</i>	<i>21,12</i>	<i>131,6</i>

$$\sum Z^{EN} = (0,875 \cdot 10,15 + 10,008 + 0,875 \cdot 75) = 84,5 \frac{\text{грн}}{\text{год}}$$

Визначення ексергетичної ціни палива та продукту (для БТНУ з електричним котлом).

Таблиця 3.2.2 Результати розрахунку термoeкономiчних параметрiв

<i>Компонент</i>	$C_P, \frac{\text{грн}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$	$C_F, \frac{\text{грн}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$	$C_D, \frac{\text{грн}}{\text{год}}$	$Z, \frac{\text{грн}}{\text{год}}$	$(C_D + Z), \frac{\text{грн}}{\text{год}}$	<i>r</i>	<i>f</i>	<i>ε</i>
<i>ТН</i>	<i>10,56</i>	<i>0,44</i>	<i>1,35</i>	<i>79,64</i>	<i>80,99</i>	<i>23</i>	<i>0,98</i>	<i>0,54</i>
<i>Нз</i>	<i>2,74</i>	<i>0,875</i>	<i>0,32</i>	<i>0,75</i>	<i>1,07</i>	<i>2,13</i>	<i>0,7</i>	<i>0,57</i>
<i>Нм</i>	<i>152,53</i>	<i>0,875</i>	<i>0,06</i>	<i>21,038</i>	<i>21,098</i>	<i>173,32</i>	<i>0,99</i>	<i>0,59</i>
<i>ВН</i>	<i>7,695</i>	<i>4,85</i>	<i>22,81</i>	<i>25,02</i>	<i>47,83</i>	<i>0,58</i>	<i>0,52</i>	<i>0,75</i>
<i>ЕК</i>	<i>9,77</i>	<i>0,875</i>	<i>61,93</i>	<i>5,154</i>	<i>67,084</i>	<i>9,12</i>	<i>0,07</i>	<i>0,163</i>
<i>БТНУ</i>	<i>183,3</i>	<i>7,915</i>	<i>86,47</i>	<i>131,6</i>	<i>218,072</i>	<i>208,15</i>	<i>3,26</i>	<i>0,17</i>

Визначення ексергетичної ціни палива та продукту

$$c_p = \frac{u_{e/e} \cdot \sum N_{TH} + Z_{tot}}{E_p} = \frac{0,875 \cdot 10,15 + 131,6}{14,377} = 9,77 \text{ кВт}$$

$$c_F = \frac{u_{e/e} \cdot N_{Ek}}{N_{Ek}} = 0,875 \frac{\text{грн}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$$

Ексергетична ефективність повної системи з електрокотлом

$$\varepsilon = \frac{E_{2e} + E_{1e}}{\sum N + E_{nat}} = \frac{14,377}{85,75} = 0,17$$

ВИСНОВКИ

Виконали ексергетичну оцінку БТНУ з трьома способами догрівання мережевої води (бойлер, газовий котел, електричний

котел). Виконали порівняння термoeкономічних показників. Отримані результати зведено в таблицю. Дійшли висновку, що найбільш оптимальним, по термoeкономічним показникам, є використання бойлера в БТНУ.

Таблиця отриманих результатів.

Теплогенератор	$Z_{tot}, \frac{\text{грн}}{\text{год}}$	ε	$c_p, \frac{\text{грн}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$	$c_F, \frac{\text{грн}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$	r	f	$C_p, \frac{\text{грн}}{\text{год}}$	$C_F, \frac{\text{грн}}{\text{год}}$
Б	90,6	0,54	174,435	7,72	199,37	3,087	2507,85	205,5
ГК	160	0,165	185,26	7,36	234,83	3,28	2663,48	641,6
ЕК	131,6	0,17	183,3	7,915	208,15	3,26	2635,3	678,7

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Тсабсаронис Д. Взаимодействие термодинамики и экономики для минимизации стоимости энергопреобразующей системы, -Одесса :ООО Студия «Негоциант », 2002-152с.

2. Морозюк Т.В. Теория холодильных машин и тепловых насосов .-Одесса: Студия «Негоциант »,2006.-712с.

3. VISSMANN. Тепловые насосы VITOCAL 300/500. Технический паспорт , 5829 119-4 GUS.