

УДК 621 311. 25

**О. М. Нанака<sup>1</sup>**  
**О. М. Головченко<sup>1</sup>**

## **ВИКОРИСТАННЯ СКИДНОГО ТЕПЛА ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ТА ЕЛЕКТРИЧНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ГІПЕРМАРКЕТУ**

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

*В гіпермаркеті встановлено холодильну установку, а на електричній підстанції гіпермаркету працюють силові трансформатори. В холодильній установці теплота від продуктів підводиться до холодоагенту (аміаку або фреону), а від нього — до води. Ця вода прямує до градирні — пристрою для охолодження води, який встановлений на даху гіпермаркету. Вода в корпусі градирні розподіляється по трубах з отворами, через які струменями стікає донизу. Назустріч струменям рухається атмосферне повітря, яке видаляється з корпусу градирні вентилятором. Електричні процеси в трансформаторах супроводжуються їх нагрівом. Охолоджуються трансформатори за допомогою масляних радіаторів, теплота від яких відводиться також у повітря навколишнього середовища. Доцільно використовувати скидну теплоту від холодильної установки та трансформаторів в системі теплопостачання гіпермаркету. Проте, ця теплота є низькотемпературною, 20...30°C. Догріти її до 50...60°C можна в тепловому насосі, газовому та електричному догрівачах. За принципом дії тепловий насос — це та ж сама холодильна установка. Різниця в тому, що теплота конденсації фреону від зовнішньої стінки домашнього холодильника або від води градирні холодильника гіпермаркету скидається у атмосферне повітря, а в тепловому насосі ця теплота в теплообміннику передається воді теплофікаційного контуру. Температура конденсації холодоагенту в теплонасосній установці (ТНУ) підвищується збільшенням тиску компресора. За необхідності теплофікаційна вода ще догрівається в нагрівачі. Теплові насоси є досить дорогими.*

*Метою роботи є визначення термінів окупності теплонасосних установок для варіантів схем теплопостачання з найменшими сумарними дисконтованими затратами. Електричні потужності приводів компресорів ТНУ визначалися за допомогою відомої програми FKW Cycle. Розрахунки ТНУ по аміаку та фреонах показали доцільність роботи ТНУ на такому ж холодоагенті, що і в холодильній установці гіпермаркету — аміаку. Визначено потужності компресора ТНУ за різних температур конденсації аміаку із заданими тепловими потужностями ТНУ та заданій максимальній сумарній тепловій потужності ТНУ та догрівача. Як догрівачі взяті наявні на підприємстві газові водогрійні котли малої потужності. Розраховані сумарні дисконтовані затрати на варіанти з догрівачем та без нього. За цим показником перевагу віддано варіанту без догрівача. Визначені терміни окупності та інші техніко-економічні показники схеми регенерації скидного тепла холодильної установки за допомогою ТНУ. В частині дослідження використання теплоти радіаторів силових трансформаторів для теплофікації приміщень підстанції розрахований наявний варіант з нагріванням води в електронагрівнику та варіанти з нагріванням води в ТНУ та догріванням її в електронагрівнику. Виконано порівняльний аналіз отриманих результатів і показано, що сумарні дисконтовані затрати на варіант з ТНУ менші сумарних дисконтованих витрат на варіант без ТНУ, що характер зміни сумарних дисконтованих витрат зі змінами температури нагрітої в ТНУ води однаковий для широкого інтервалу питомих вартостей ТНУ та електроенергії. Найменші сумарні дисконтовані витрати відповідають найменшому нагріву води в ТНУ та, відповідно, найбільшому догріву в електронагрівачеві. Головні результати роботи такі. За питомих вартостей електроенергії 3 грн/кВт·год, газу — 11,8 грн/м<sup>3</sup>, теплонасосної установки — 6000 грн/кВт; статичний та динамічний терміни окупності ТНУ для регенерації скидного тепла холодильної установки складають 2,83 та 3,5 років, відповідно. В схемі використання скидного тепла трансформаторів з ТНУ та електронагрівачем доцільними є мінімальний нагрів води в ТНУ і максимальний догрів в електронагрівачеві. Термін окупності схеми з ТНУ для регенерації скидного тепла трансформатора складає менше одного року.*

**Ключові слова:** холодильна установка, електричний трансформатор, теплонасосна установка, теплопостачання, дисконтовані затрати.

### Вступ

В холодильній установці гіпермаркету теплота від охолоджуваних продуктів підводиться до води, яка в градирні охолоджується повітрям навколишнього середовища. Електричні процеси в трансформаторах супроводжуються нагріванням. Охолоджуються трансформатори маслом, теплота від якого відводиться також і у навколишнє повітря. Доцільно використати цю скидну теплоту в системі теплопостачання гіпермаркету. Це можна зробити за допомогою теплонасосних установок, які є досить вартісними.

*Метою роботи* є визначення термінів окупності теплонасосних установок для варіантів схем теплопостачання з найменшими сумарними дисконтованими затратами  $Z_{\Sigma}$ , грн/рік.

$$Z_{\Sigma} = Z_e + Z_k, \quad (1)$$

де  $Z_e$ ,  $Z_k$  — річні експлуатаційні та дисконтовані капітальні затрати. При порівнянні варіантів схем теплопостачання в експлуатаційних затратах найбільш суттєво змінюються затрати на енергоносії. Тому,

$$Z_e = Z_g + Z_{ee}, \quad (2)$$

де  $Z_g$ ,  $Z_{ee}$  — річні затрати на газ та електроенергію.

$$Z_k = a \cdot K, \quad (3)$$

де  $a$  — норма дисконту, 1/рік;  $K$  — капіталовкладення в обладнання схеми системи теплопостачання, грн.

### Основна частина

В котельні підприємства встановлені чотири газових котли по 100 кВт з ККД 88 % та витратою газу 11,5 м<sup>3</sup>/год. Під час максимально опалювального періоду працюють всі котли, під час середньо опалювального — три котли, в неопалювальний період працює один котел. Максимально опалювальний період складає  $\tau_{mo} = 560$  годин, середньо опалювальний період  $\tau_{so} = 3700$  годин, неопалювальний період  $\tau_{no} = 4500$  годин, ціна газу — 11,8 грн/м<sup>3</sup>. Визначимо сумарні дисконтовані затрати  $Z_{\Sigma i}$  на наявний варіант теплопостачання за формулам (1) — (3). Вважатимемо, що  $Z_{ee} = 0$  та  $K = 0$ . Тоді  $Z_{\Sigma i} = Z_{ei} = Z_{gi}$ . Результати розрахунку сумарних дисконтованих затрат  $Z_{\Sigma i}$  на наявний варіант теплопостачання наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Сумарні дисконтовані затрати  $Z_{\Sigma i}$  на наявний варіант теплопостачання

Опалювальний період	Річна витрата газу $V_{\text{газ}}$ , м <sup>3</sup>	Затрати на газ, грн
Максимальний	25 760	304 000
Середній	127 650	1 506 300
Неопалювальний	51 750	610 650
Сумарні дисконтовані затрати $Z_{\Sigma i}$ , грн/рік.	205 160	2 421 000

Отже, сумарні дисконтовані затрати на наявний варіант теплопостачання складають 2,421 млн грн/рік.

Визначимо сумарні дисконтовані затрати  $Z_{\Sigma \text{тну}}$  на систему теплопостачання з використанням скидного тепла холодильної установки. Схема компресійної парової холодильної установки з ТНУ показана на рис. 1.

Холодоносії (розсіл) надходить в морозильну камеру 1, нагрівається в ній та подається у випарник 3, в якому віддає теплоту холодоагенту, що випаровується. Пара холодоагенту з випарника стискається в компресорі 10, стає перегрітою і конденсується в конденсаторі 8. Рідина надходить в понижувальний тиск дросельний пристрій 4, в якому частково випаровується. Суміш пари і рідини

холодоагенту з температурою насичення відповідно тиску за дросельним пристроєм прямує у випарник 3. В конденсаторі 8 парюю холодоагенту гріється вода, яка охолоджується повітрям в градирні 7. В ТНУ теплота від оборотної води у випарнику В підводиться до холодоагенту і в конденсаторі К холодоагентом передається мережній воді системи теплофікації підприємства. Після теплового насосу (ТНУ) 12 мережна вода догрівається до потрібної температури у догрівачі 13.

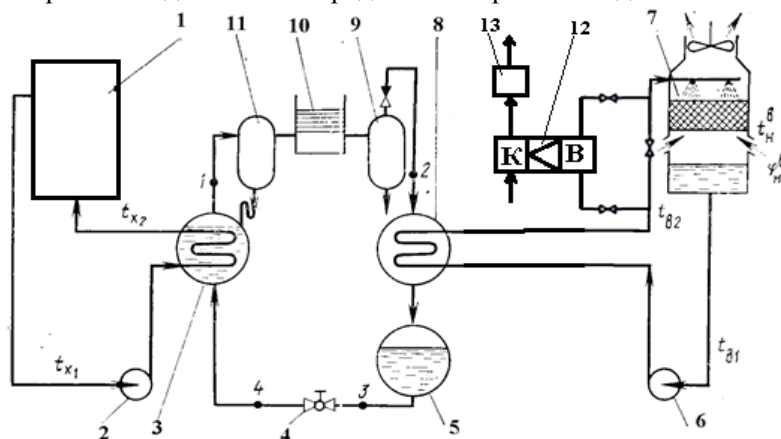


Рис. 1. Схема компресійної парової холодильної установки з ТНУ:

- 1 — морозильна камера; 2 — насос для циркуляції холодоносія;  
3 — випарник; 4 — дросельний пристрій; 5 — ресивер; 6 — насос для циркуляції води; 7 — вентиляторна градирня; 8 — конденсатор; 9 — маслоохолодник; 10 — компресор;  
11 — відділювач рідини; 12 — тепловий насос; 13 — догрівач

Після теплового насосу (ТНУ) 12 мережна вода догрівається до потрібної температури у догрівачі 13.

Початкові дані для розрахунків схеми з ТНУ такі. Потужність холодопродуктивності холодильної установки:  $Q_0 = 750$  кВт. Холодоагент аміак (R717). З розрахунку схеми визначено, що теплова потужність всіх градирень з урахуванням теплоти систем охолодження механізмів підприємства  $Q_{gr}$  складає 1176,36 кВт. На підприємстві встановлено чотири градирні з максимальною потужністю 372 кВт кожна. Потужність електродвигуна водяного насосу кожної градирні складає 5,5 кВт. Потужність електродвигуна вентилятора 6,4 кВт. Ма-

ксимальна потужність теплофікації 400 кВт. Вважаємо, що ціна електроенергії  $c_{ee} = 3$  грн/кВт·год.

Спочатку виберемо холодоагент для ТНУ — аміак або фреон. Розрахунки для вибору виконані за допомогою відомої програми FKW Cycle. Параметрами, які задаються, є температура конденсації холодоагенту  $t_{kond}$ , температура нижнього джерела теплоти — оборотної води  $t_{obor}$ , потужність теплоти конденсації  $Q_{kond}$ . Визначаються потужність теплоти, відведеної від нижнього джерела  $Q_{obor}$ , потужність компресора  $N_{kompr}$ , показник ефективності ТНУ COP.

Результати розрахунків ТНУ на аміаку та фреоні подані в табл. 2.

Таблиця 2

#### Порівняльні характеристики ТНУ

№	Холодоагент	$t_{kond}$ , °C	$t_{obor}$ , °C	$Q_{kond}$ , кВт	$Q_{obor}$ , кВт	$N_{kompr}$ , кВт	COP
1	Аміак	60	28	400	305	86,64	3,5
2	Фреон R134A	60	28	400	280	98,6	2,84
3	Фреон R407C	60	28	400	289	90,7	3,19
4	Фреон R22	60	28	400	292	90,2	3,2

Як видно з таблиці, найменшу потужність приводу компресора має аміачна ТНУ. Холодильна установка підприємства також аміачна. Тому беремо як холодоагент ТНУ аміак.

Воду з ТНУ можна догрівати в газовому догрівачеві, до прикладу, у наявному водогрійному котлі. Визначимо потужність компресора ТНУ за таких теплових навантажень ТНУ та догрівача, відповідно: 250 та 150; 300 та 100; 350 та 50; 400 і 0, кВт. Результати розрахунків подані в табл. 3.

Таблиця 3

#### Результати розрахунків аміачної ТНУ за різних температур конденсації аміаку

№	$t_{obor}$ , °C	$t_{kond}$ , °C	$Q_{kond}$ , кВт	$Q_{obor}$ , кВт	$N_{kompr}$ , кВт	COP	$Q_{dogr}$ , кВт
1	28	45	250	208	37	5,6	150
2	28	50	300	243	51	4,8	100
3	28	55	350	276	67	4,1	50
4	28	60	400	305	86,6	3,5	0

Визначимо затрати на електроенергію та газ (експлуатаційні затрати  $Z_e$ ) для ТНУ з догрівачем та без нього за наведених температур конденсації аміаку в максимальний зимовий період роботи (табл. 4).

Таблиця 4

**Результати розрахунків експлуатаційних затрат  $Z_e$  для ТНУ з догрівачем та без нього в максимальний зимовий період роботи**

№	$t_{kond}$ , °C	Затрати на електроенергію привода компресора, грн	Затрати на газ догрівача, грн	Експлуатаційні затрати $Z_e$
1	45	62160	114000	176160
2	50	85680	75992	161672
3	55	112560	38000	150560
4	60	145000	0	145000

Визначимо потужності компресора в середній та неопалювальний періоди, табл. 5.

Таблиця 5

**Потужності компресора ТНУ в опалювальні періоди**

№	Опалювальні періоди	$t_{kond}$ , °C	$t_{obor}$ , °C	$Q_{kond}$ , кВт	$Q_{obor}$ , кВт	$N_{komp}$ , кВт	COP
1	Максимальний зимовий	60	28	400	305	86,66	3,5
2	Середній	60	28	300	230	65,5	3,5
3	Неопалювальний	60	28	100	77	22	3,5

Розрахунки експлуатаційних затрат для середньоопалювального та неопалювального періодів роботи виконані аналогічно.

Визначимо дисконтовані капітальні затрати на ТНУ за формулою (3). Приймаємо  $K = 2400000$ ,  $a = 0,1$ . Тоді  $Z_k = 240000$  грн/рік. Результати розрахунку сумарних дисконтованих затрат  $Z_{\Sigma mi}$  для ТНУ з догрівачем та без нього зведені в табл. 6.

Таблиця 6

**Результати розрахунку сумарних дисконтованих затрат  $Z_{\Sigma mi}$  для ТНУ з догрівачем та без нього**

№	$t_{kond}$ , °C	Експлуатаційні затрати $Z_e$ , грн/рік	Дисконтовані капітальні затрати на ТНУ $Z_k$ , грн/рік	Сумарні дисконтовані затрати $Z_{\Sigma mi}$ , грн/рік
1	45	1 683 740	240 000	1 923740
2	50	1 465 700	240 000	1 705 700
3	55	1 284 390	240 000	1 524 390
4	60	1 169 000	240 000	1 409 560

Як видно з таблиці 6, сумарні дисконтовані затрати найменші за відсутності догрівача та у разі максимального навантаження ТНУ. За остаточний приймаємо варіант 4, який дозволяє відмовитися від вартісного газу.

За результатами розрахунку річні затрати на електроенергію ТНУ складають 1169000 грн. Річна економія затрат на енергоносії  $\Delta E$  після впровадження ТНУ дорівнює:

$$\Delta E = Z_{ei} - Z_e = 2421000 - 1169000 = 1252000 \text{ грн.} \quad (4)$$

Капіталовкладення в ТНУ оцінені в 2400000 грн. Визначимо терміни окупності цих капіталовкладень за методикою [2]. Початкові дані до розрахунків подані в табл. 7.

Таблиця 7

**Початкові дані для розрахунків**

Показники	Позначення	Значення показника
1. Капіталовкладення, млн грн	$K$	2,4
Вартість економії енергоносіїв, млн грн	$\Delta E$	1,252
2. Річна норма амортизації основних засобів, %	$H_A$	12,5
3. Норма відрахувань на тепло обслуговування і ремонт	$H_R$	7,0
4. Ставка податку на прибуток, %	$C_{PP}$	30,0
5. Ставка податку на майно, %	$C_{PM}$	2,0
6. Норма дисконту, %	$E$	10,0

Результати розрахунків термінів окупності капіталовкладень та техніко-економічних показників схеми для регенерації скидного тепла холодильної установки наведені в табл. 8.

Таблиця 8

Терміни окупності капіталовкладень та техніко-економічні показники схеми для регенерації скидного тепла холодильної установки

Найменування	Значення
Амортизація основних засобів, млн грн	0,3
Витрати на техобслуговування та ремонт, млн грн	0,168
Економія поточних витрат (приріст прибутку), млн грн	0,783
Приріст чистого прибутку підприємства, млн грн	0,5481
Річний дохід інвестиційного проекту, млн грн	0,8481
Чистий дисконтований дохід проекту, млн грн	2,12
Індекс прибутковості проекту	1,88
Статичний термін окупності, років	2,83
Динамічний термін окупності, років	3,5

Як видно з таблиці, терміни окупності капіталовкладень в ТНУ є цілком прийнятними.

Джерелом електричної енергії для підприємства є трансформаторна підстанція. Теплофікацію будівлі трансформаторної підстанції забезпечує водяний електронагрівач. Трансформатори підстанції охолоджуються маслом, теплота якого скидається в повітря. Є доцільним розглянути варіант використання скидного тепла трансформаторів для теплофікації будівлі підстанції за допомогою ТНУ.

Розрахункова схема використання скидного тепла трансформатора для теплопостачання наведена на рис. 2.

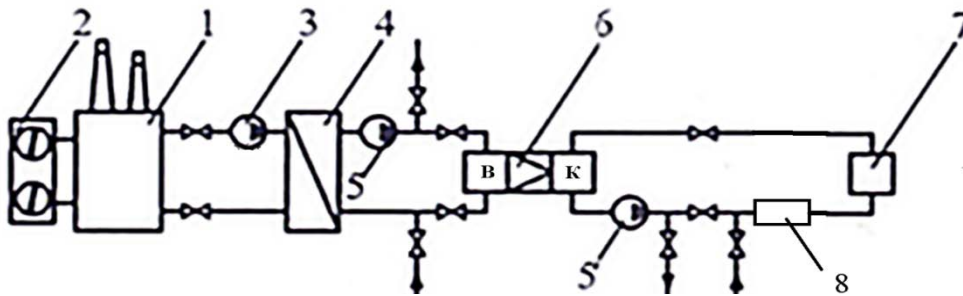


Рис. 2. Розрахункова схема використання скидного тепла трансформатора для теплопостачання  
1 — трансформатор; 2 — охолоджувач; 3 — масляний насос; 4 — теплообмінник масло-вода; 5 — водяний насос;  
6 — теплонасосна установка (ТНУ); 7 — споживач тепла; 8 — електронагрівач

Схема містить три контури. В першому контурі теплота від трансформатора передається маслу. В другому контурі теплота від масла в масло-водяному теплообміннику передається воді. В третьому контурі теплота від води у випарнику ТНУ передається фреону. Фреон також нагрівається в процесі стискання в компресорі ТНУ. Далі теплота фреону в конденсаторі ТНУ передається воді, яка догрівається в електричному нагрівнику і надходить споживачу.

За заданої теплової потужності  $Q$  системи теплопостачання (СТП) вода нагрівається відведенням від трансформатора теплом в теплообміннику до температури  $T_1$ , далі нагрівається в ТНУ до температури  $T_x$ , догрівається в електронагрівачеві до заданої температури теплопостачання  $T_{gvp}$ .

Дисконтовані затрати на СТП  $Z_{\Sigma}$  визначаються, як сума затрат на теплообмінник  $Z_{to}$ , електроенергію приводів масляного та водяного насосів  $Z_{ee\ mn}$  та  $Z_{ee\ vn}$ , електроенергію приводу ТНУ  $Z_{ee\ tu}$ , електроенергію догрівача  $Z_{eed}$ , затрат на придбання ТНУ  $Z_{tmu}$  та догрівача  $Z_d$ .

$$Z_{\Sigma} = Z_{to} + Z_{ee\ mn} + Z_{ee\ vn} + Z_{ee\ tu} + Z_{eed} + Z_{tmu} + Z_d. \quad (5)$$

Затрати  $Z_{\Sigma}$  є функцією температури  $T_x$ . Необхідно дослідити вплив температури  $T_x$  на затрати  $Z_{\Sigma}$  та визначити термін окупності схеми СТП. Початкові дані такі. Встановлена потужність  $Q$  системи теплопостачання (СТП) 20 кВт. Температуру гарячої води  $T_{gvp}$  на виході з СТП 60 °С. Кількість годин  $\tau$  роботи СТП на встановленій потужності 6500. Теплова потужність втрат трансформатора складає 9 кВт. Розрахунки виконані за методикою [1]. Результати розрахунків потужностей

ТНУ за температур води на виході з ТНУ 40, 50, 60 та 70 °С наведені в табл. 9.

Таблиця 9

### Результати розрахунку потужностей ТНУ

Температура води на виході з ТНУ, °С	Теплова потужність ТНУ, $N_{ми}^T$ , кВт	Електрична потужність приводу ТНУ $N_{ми}^E$ , кВт	COP
40	11,33	1,96	4,48
50	12,04	2,61	3,37
60	12,91	3,41	2,58
70	14,04	4,44	1,98

Результати розрахунків сумарних дисконтованих затрат, грн/рік та їх складових на систему теплопостачання за температур води на виході з ТНУ 40, 50 та 60 градусів за питомих вартостей електроенергії та ТНУ 3 грн/кВт·год та 6000 грн/кВт, відповідно, подані в таблиці 10.

Таблиця 10

### Результати розрахунків сумарних дисконтованих затрат (грн/рік) та їх складових на систему теплопостачання за температур води на виході з ТНУ 40, 50 та 60 °С

№	Складова системи теплопостачання	Без ТНУ	40	50	60
1	1-й контур. Масловодяний теплообмінник	1000	1000	1000	1000
2	Маслонасос	300	300	300	300
3	Енергія приводу маслонасоса	14700	14700	14700	14700
4	2-й контур. Водяний насос	200	200	200	200
5	Енергію приводу водяного насоса	7350	7350	7350	7350
6	3-й контур. ТНУ	0	68000	72240	77460
7	Енергія приводу компресора	0	38220	50895	66495
8	Водяний насос	0	500	500	500
9	Енергія приводу водяного насоса	0	4193	4193	4193
10	Електродогрівач	2000	8670	7960	0
11	Електроенергію догрівача	390000	16906	15522	0
12	Сумарні дисконтовані затрати	415550	160093	182210	172198

Як видно з таблиці, найменші приведені затрати відповідають нагріву в ТНУ до 40 градусів.

Результати розрахунків сумарних дисконтованих затрат на систему теплопостачання за питомих вартостей електроенергії 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6 грн/кВт·год показані на рис. 3.

Результати розрахунків сумарних дисконтованих затрат на систему теплопостачання за питомих вартостей ТНУ 500; 1000; 2000; 3000; 4000; 5000; 6000; 8000; 10000 грн/кВт показані на графіках рис. 4.

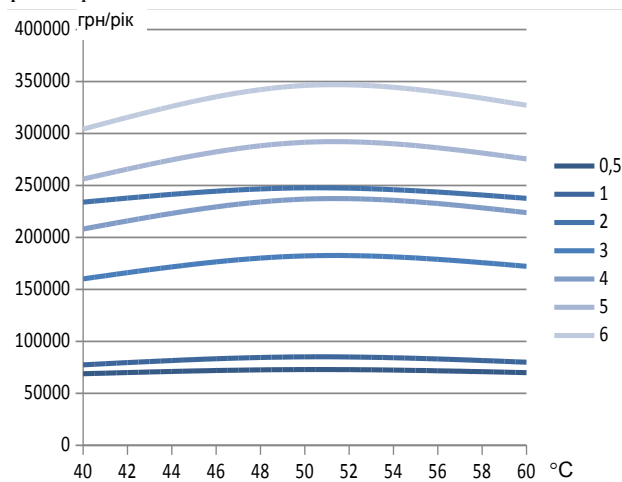


Рис. 3. Залежності сумарних дисконтованих затрат на систему теплопостачання від температури води на виході з ТНУ, за різних питомих вартостей електроенергії

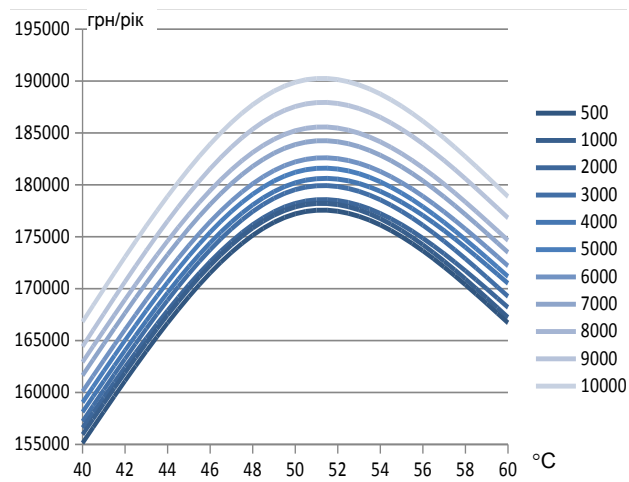


Рис. 4. Залежності сумарних дисконтованих затрат на систему теплопостачання від температури води на виході з ТНУ за різних питомих вартостей ТНУ

З рис. 3 та 4 видно, що на доцільність мінімального нагріву води в ТНУ і догрівання її в електронагрівачеві питомі вартості електроенергії та ТНУ не впливають.

Техніко-економічні показники схеми використання скидного тепла трансформатора для теплопостачання подані в табл. 10.

Таблиця 10

Техніко-економічні показники схеми використання скидного тепла трансформатора для теплопостачання

Показники	Значення показника
Капіталовкладення в обладнання схеми, грн	89300
Затрати на електроенергію $Z_{eetu}$ приводів насосів та компресора ТНУ, грн/рік	234 000
Затрати на електроенергію $Z_{eaisn}$ електронагрівника в існуючому варіанті, грн/рік	390 000
Вартість економії електроенергії, грн/рік	156 000
Статичний термін окупності, років	0,6

### Висновки

1. Розглянуто схему використання скидного тепла холодильної установки для підігрівання мережної води в ТНУ та догрівання її в газовому нагрівачі.

2. Розраховані сумарні дисконтовані затрати на ТНУ з догрівачем та без догрівача. Мінімальним затратам відповідає варіант з нагріванням мережної води лише в ТНУ, без її догрівання в газовому нагрівачі.

3. За питомих вартостей: електроенергії 3 грн/кВт·год, газу — 11,8 грн/м<sup>3</sup>, теплонасосної установки — 6000 грн/кВт, — статичний та динамічний терміни окупності теплонасосної установки складають 2,83 та 3,5 років, відповідно.

Всі розраховані критерії ефективності схеми регенерації скидного тепла холодильної установки задовольняють умовам доцільності інвестиційного проекту:

- чистий дисконтований дохід  $ЧДД$  більше 0;
- індекс прибутковості  $ПП$  більше 1;
- внутрішня норма доходу  $ВНД$  більше 10 %;
- динамічний термін окупності  $T_0$  менше 8 років.

4. Розглянута схема використання скидного тепла трансформатора для теплопостачання з ТНУ та електронагрівачем.

5. В схемі використання скидного тепла трансформатора з ТНУ та електронагрівачем доцільно виконувати мінімальний нагрів води в ТНУ і максимальний догрів в електронагрівачеві.

6. Статичний термін окупності схеми з ТНУ для регенерації скидного тепла трансформатора для заданих вихідних даних складає менше одного року.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] О. М. Головченко, і О. М. Нанака, «Система гарячого водопостачання з використанням скидного тепла трансформатора», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 6, с. 25-30, 2019.

[2] О. Л. Данилов, и П. А. Костюченко, *Практическое пособие по выбору и разработке энергосберегающих проектов*. М., РФ: ЗАО «Технопромстрой», 2006, 668 с.

Рекомендована кафедрою комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 26.10.21

**Нанака Олена Миколаївна** — канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів, e-mail: e\_nanaka@ukr.net ;

Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

**Головченко Олексій Михайлович** — канд. техн. наук, доцент, м. Вінниця



O. M. Nanaka<sup>1</sup>  
O. M. Golovchenko<sup>1</sup>

## USE of Heat Discharge of Refrigeration Installation and Electric Transformers of Hypermarket

<sup>1</sup>Vinnitsia National Technical University

*A refrigeration unit is installed in the hypermarket, and power transformers operate at the electrical substation of the hypermarket. In the refrigeration unit, the heat from the products is fed to the refrigerant - ammonia or freon, and from it to the water. This water goes to the cooling tower — a device for cooling water, which is installed on the roof of the hypermarket. Water in the cooling tower housing is distributed through pipes with holes through which jets flow down. Atmospheric air moves towards the jets, which is removed from the body of the cooling tower by a fan. Electrical processes in transformers are accompanied by their heating. Transformers are cooled by oil radiators, the heat of which is also dissipated to the ambient air. It is advisable to use waste heat from the refrigeration unit and transformers in the heat supply system of the hypermarket. However, this heat is low temperature, 20...30 °C. It can be heated to 50...60 °C in a heat pump, gas and electric heaters. According to the principle of operation, the heat pump is the same refrigeration unit. The difference is that the heat of condensation of freon from the outer wall of the home refrigerator or from the water cooler of the hypermarket refrigerator is discharged into the atmosphere, and in the heat pump this heat in the heat exchanger is transferred to the heating circuit water. The condensing temperature of the refrigerant in the heat pump unit (HPU) increases with increasing compressor pressure. If necessary, the heating water is still heated in the heater. Heat pumps are quite expensive. The aim of the work is to determine the payback period of heat pump installations for variants of heat supply schemes with the lowest total discounted costs. The electric power of the HPU compressor drives was determined using the well-known FKW Cycle program. Calculations of HPU on ammonia and CFCs showed the feasibility of HPU operation on the same refrigerant as in the refrigeration unit of the hypermarket — ammonia. The capacities of the HPU compressor at different ammonia condensing temperatures at the specified thermal capacities of the HPU and the specified maximum total thermal capacity of the HPU and the heater were determined. Low-capacity gas boilers existing at the enterprise are accepted as heaters. Calculated total discounted costs for options with and without heater. According to this indicator, the option without a heater is preferred. Payback periods and other technical and economic indicators of the scheme of regeneration of waste heat of the refrigeration unit with the help of HPU are determined. In the part of research of use of heat of radiators of power transformers for district heating of substation premises the existing variant with heating of water in an electric heater and variants with heating of water in HPU and its heating in an electric heater is calculated. A comparative analysis of the obtained results is performed and it is shown that the total discounted costs for the option with HPU are less than the total discounted costs for the option without HPU, that the nature of changes in total discounted costs with changes in temperature of water heated in HPU is the same. The lowest total discounted costs correspond to the lowest water heating in the HPU and, accordingly, the highest heating in the electric heater. The main results of the work are as follows. At specific prices of electricity 3 UAH/kWh, gas — 11.8 UAH/m<sup>3</sup>, heat pump installation — 6000 UAH/kW static and dynamic payback periods of HPU for regeneration of waste heat of the refrigeration unit are 2.83 and 3.5 years, respectively. In the scheme of use of waste heat of transformers with HPU and electric heater the minimum heating of water in HPU and the maximum heating in the electric heater are expedient. The payback period of the circuit with HPU for regeneration of waste heat of the transformer is less than one year.*

**Keywords:** refrigeration unit, electric transformer, heat pump unit, heat supply, discounted costs.

*Nanaka Olena M.* — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Chair of Computerized Electromechanical Systems and Complexes, e-mail: e\_nanaka@ukr.net ;

*Golovchenko Oleksiy M.* — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor