

Вінницький національний технічний університет

Факультет електроенергетики та електромеханіки

Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

## Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему: ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ  
ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ ШЛЯХОМ РЕГЕНЕРАЦІЇ СКИДНОГО ТЕПЛА  
ЕЛЕКТРИЧНИХ ТА ТЕПЛОВИХ МАШИН

Виконав: студент 2 курсу, групи Ем-18м

спеціальності 141 «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Матат О.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник Головченко О.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Вінниця – 2018 р.

Вінницький національний технічний університет

Факультет Електроенергетики та електромеханіки

Кафедра Електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

Освітньо-кваліфікаційний рівень

магістр

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСЕЕМ

проф. М. Й. Бурбело

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 року

## ЗАВДАННЯ

### НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Матату Олександр Сергієвичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення ефективності систем енергопостачання шляхом регенерації скидного тепла електричних та теплових машин

керівник роботи Головченко Олексій Михайлович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ 02 ” 10 2019 року №254

2. Термін подання студентом роботи “ 03 ” 12 2019 року

3. Вихідні дані до роботи Генплан підприємства; відомості про особливості технологічних процесів, відомості про електричні навантаження підприємства; відомості про технічне устаткування підприємства; відомості про джерела живлення та перспективу розвитку підприємства.

4. Зміст розрахунково–пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Короткі відомості про підприємство. Енергетичний аудит. Дослідження систем гарячого водопостачання з регенерацією скидного тепла трансформатора. Використання скидного тепла холодильної установки в системі теплофікації підприємства. Економічна частина. Охорона праці та цивільний захист. Висновки. Список використаних джерел.

Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Головченко О.М. к.т.н., доцент		
Теплотехнічна частина	Головченко О. М. к.т.н., доцент		
Економічна частина	Шулле Ю. А., к.т.н., доцент		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобилянський О. В., д.пед.н., професор		
Норми контролю	Войтюк Ю. П.		

Дата видачі завдання «\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 року.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальна інформація про підприємство		
2	Енергетичний аудит		
3	Дослідження систем гарячого водопостачання з регенерацією скидного тепла трансформатора.		
4	Використання скидного тепла холодильної установки в системі теплофікації підприємства.		
5	Економічна частина		
6	Охорона праці та цивільний захист		

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Матат О.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Головченко О.М.

(прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

Анотація.....	6
Вступ.....	8
1 ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПІДПРИЄМСТВО.....	9
1.1 Короткі відомості про підприємство.....	9
1.2 Відомості про електричні навантаження підприємства.....	10
2 ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АУДИТ.....	12
2.1.1 Інформація про об'єкт енергетичного аудиту підприємства.....	12
2.1.2 Система електропостачання.....	12
2.1.3 Система тарифів на енергоносії, що їх використовує підприємство, та існуючі обмеження на споживання енергії.....	15
2.1.4 Наявність і характеристика систем обліку та контролю енергоспоживання.....	16
2.2 Аналіз попередньо отриманої інформації.....	16
2.2.1 Поділ систем на підсистеми (з зазначенням результатів аналізу).....	17
2.2.2 Можливі заходи з енергозбереження.....	18
2.2.3 Попередній аналіз запропонованих заходів з енергозбереження.....	18
2.2.4 Попередній звіт.....	19
2.2.5 План проведення енергетичного аудиту ТОВ «Грош-1».....	20
2.3 Оброблення інформації про використання пер.....	21
2.3.1 Інформація, необхідна для перевірки ефективності вибору системи компенсації реактивної потужності у ТОВ «Грош-1».....	21
2.3.2 Побудова та аналіз характеристик режимів споживання ПЕР.....	23
2.3.3 Визначення питомих норм споживання ПЕР.....	25

2.4 Розроблення і обґрунтування рекомендацій щодо підвищення ефективності використання пер у ТОВ «Грош-1».....	27
2.4.1 Визначення економії коштів внаслідок встановлення системи КРП...	28
2.4.2 Перевірка ефективності системи освітлення.....	34
2.5 Підвищення ефективності системи інфрачервоного опалення приміщень підприємства.....	38
<b>3 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ З РЕГЕНЕРАЦІЄЮ СКИДНОГО ТЕПЛА ТРАНСФОРМАТОРА.....</b>	<b>41</b>
3.1 Тепловий розрахунок трансформатора потужністю 630 Ква.....	42
3.2 Розрахунок теплообмінника та насосів.....	44
3.3 Розрахунки ТНУ, електронагрівача та результати досліджень системи гарячого водопостачання.....	57
<b>4 ВИКОРИСТАННЯ СКИДНОГО ТЕПЛА ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ В СИСТЕМІ ТЕПЛОФІКАЦІЇ ПІДПРИЄМСТВА .....</b>	<b>75</b>
4.1 Розрахунок циклу парокомпресійної установки.....	76
4.2 Розрахунок і підбір основного обладнання холодильної машини.....	79
4.2.1 Компресор.....	79
4.2.2 Випарник.....	84
4.3 Розрахунок і підбір допоміжного обладнання.....	89
4.3.1 Відділювач рідини.....	89
4.3.2. Масловіддільники.....	90
4.3.3 Лінійні ресивери.....	90
4.3.4 Дренажні ресивери.....	91
4.3.5 Розрахунок системи оборотного водопостачання.....	92

4.4 Використання скидного тепла холодильної установки в системі теплофікації підприємства з використанням тепло насосної установки.....	98
4.4.1 Аналіз ефективності капіталовкладень в проект.....	105
4.5.2 Розрахунок термінів окупності.....	107
<b>5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА. РОЗРАХУНОК КАПІТАЛОВКЛАДЕНЬ В СИСТЕМУ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....</b>	<b>108</b>
5.1 Мета розрахунків та характеристика вихідних даних.....	108
5.2 Розрахунок капіталовкладень в систему електропостачання.....	109
5.3 Розрахунок поточних витрат.....	111
5.3.1 Розрахунок необхідної чисельності робітників.....	111
5.3.2 Розрахунок витрат по заробітній платі.....	116
5.4 Планування вартості матеріалів що витрачаються.....	120
5.6 Розрахунок собівартості електроенергії.....	127
5.6.1 Розрахунок річного споживання і втрат електроенергії. Розрахунок оплати за електроенергію.....	127
<b>6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ.....</b>	<b>134</b>
6.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта.....	135
6.1.1 Технічні рішення щодо організації робочих місць.....	135
6.1.2 Експлуатація.....	138
6.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	139
6.2.1 Мікроклімат.....	139
6.2.2 Склад повітря робочої зони.....	140
6.2.3 Виробниче освітлення.....	141
4.2.4 Виробничий шум.....	143
4.2.5 Виробничі випромінювання.....	144

6.3. Психофізіологічні фактори.....	146
6.4 Цивільний захист.....	148
6.4.1 Дослідження стійкості роботи системи енергопостачання в умовах дії іонізуючих випромінювань.....	148
6.4.2 Дослідження стійкості роботи системи енергопостачання ТОВ «Грош-1» в умовах дії електромагнітного імпульсу.....	150
6.4.3 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи системи енергопостачання ТОВ «Грош-1» в умовах надзвичайних ситуацій.....	152
Висновки.....	155
Список льтератури.....	157

## АНОТАЦІЯ

Матат О.С. Підвищення ефективності систем енергопостачання шляхом регенерації скидного тепла електричних та теплових машин,. Магістерська кваліфікаційна робота. Спеціальність 141 – Вінниця: ВНТУ, ФЕЕМ, кафедра ЕСЕЕМ, 2019 – 83 с.

В даній магістерській кваліфікаційній роботі було розглянуто методи підвищення систем енергопостачання шляхом регенерації скидного тепла електричних та теплових машин, а саме проведено енергетичний аудит та запропоновано інноваційні рішення щодо заощадження електроенергії. Здійснено опрацювання параметрів гарячого водопостачання з використанням скидного тепла від трансформатора та холодильного обладнання. Розглянуті питання охорони праці та цивільного захисту. Дані заходи розглянуті на прикладі ТОВ НВП “Аргон” гіпермаркет “Грош-1”

Рисунків – 14

Таблиць – 38

Бібліографій – 50



## ANNOTATION

Matat O.S. Improving the efficiency of energy supply systems by regenerating the waste heat of electric and thermal machines. Master's qualification work. Specialty 141 - Vinnytsia: VNTU, FEEM, ESEEM Department, 2019 - 83 p.

In this master's qualification work the methods of increase of energy supply systems by regeneration of waste heat of electric and heat machines were considered, namely, the energy audit was carried out and innovative solutions for the saving of electricity were proposed. The parameters of hot water supply with the use of waste heat from the transformer and refrigeration equipment have been processed. The issues of labor protection and civil protection are considered. These measures are considered on the example of LLC NPP "Argon" hypermarket "Grosh-1"

Pictures - 14

Tables - 38

Bibliographies - 50

## ВСТУП

Актуальність роботи. В магістерській кваліфікаційній роботі проводився аналіз електричних та теплових машин підприємства, особливо актуальним є використання всіх ресурсів машин з мінімальними втратами.

До складу обладнання супермаркетів входять електричні трансформатори та холодильні установки. Електричні процеси в них супроводжуються їх нагрівом. Охолоджуються трансформатори маслом, теплота від якого відводиться до повітря навколишнього середовища.

Мета та завдання дослідження. Доцільною метою є використання цієї скидної теплоти в системі гарячого теплопостачання. Проте температура нагрітого масла близько 40 °С, а температура води гарячого водопостачання близько 60 °С. Тому необхідне додаткове джерело теплоти для догріву теплоносія. В умовах трансформаторних підстанцій такими джерелами можуть бути електронагрівачі, теплові насоси та їх комбінації. Першою задачею цієї роботи є визначення варіантів системи гарячого водопостачання з використанням тепла від трансформаторів з найменшими сумарними приведеними затратами.

Об'єкт дослідження. Підвищення ефективності холодильних установок відбувається за декількома напрямками.

Предмет дослідження. Дослідження перевага системи із вторинним контуром охолодження перед системами з безпосереднім випаровуванням.

Методи дослідження. Дослідження виконано методом математичного моделювання.

Наукова новизна. Полягає в тому щоб за допомогою теплонасосних установок і електричних підігрівачів в результаті добитися використання скидного тепла з трансформаторів і холодильних установок.

Практичне застосування. Данні методики реальні і мають своє практичне застосування та допомагають заощадити значні кошти на опалення, за допомогою ТНУ і догрівачів досягається достатня температура води щоб використати її для опалення та інших власних потреб підприємства.

Публікації. Тези доповідей опубліковано на сайті ВНТУ[51][52]

# 1 ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПІДПРИЄМСТВО

## 1.1 Короткі відомості про підприємство

ТОВ НВП "Аргон" гіпермаркет "Грош-1" спеціалізується на реалізації продовольчих і непродовольчих товарів універсального асортименту в формі самообслуговування. Власне виробництво продовольчих і непродовольчих товарів.

Велике значення має правильне розміщення товарів з урахуванням максимального використання площі складів, можливості застосування механізмів, безпечної роботи персоналу, оперативного обліку товарно-матеріальних цінностей. Режим зберігання передбачає певну температуру, швидкість руху повітря, відносну вологість. Варто суворо слідкувати за дотриманням термінів реалізації продуктів, особливо швидкопсувних. Так, крупнокускові напівфабрикати з м'яса зберігаються 48 год. при температурі 2-6°C, порціонні без панірування напівфабрикати — 36 год.; порціонні паніровані напівфабрикати — 24 год.; напівфабрикати м'ясні січені- 12 год.; риба всіх найменувань — 48 год. при температурі 0-2°C; риба заморожена — 24 год. при тій же температурі; молочнокисла продукція зберігається не більше 36 год. при температурі 2-6°C.

У межах термінів, необхідних для забезпечення безперервної роботи підприємства, зберігання певного запасу сировини є частиною технологічного процесу. Крім того, невеликий запас нешвидкопсувної сировини (борошно, цукор, крохмаль, спеції тощо) доцільно створювати для раціонального використання транспорту.

## 1.2 Відомості про електричні навантаження підприємства

Підприємство споживає електричну енергію яка постачається від п/ст. 630/10 та природній газ. Плата за електроенергію здійснюється за тарифом при споживанні по першому класу і дорівнює  $T = 3$  грн/кВт год. Генплан підприємства представлено на рисунку 1.1 відомості про споживачів підприємства наведено у таблиці 1.1.

Переважною частиною електроприймачів підприємства є приймачі з тривалим режимом роботи. За надійністю електропостачання підприємство в цілому відноситься до II категорії.

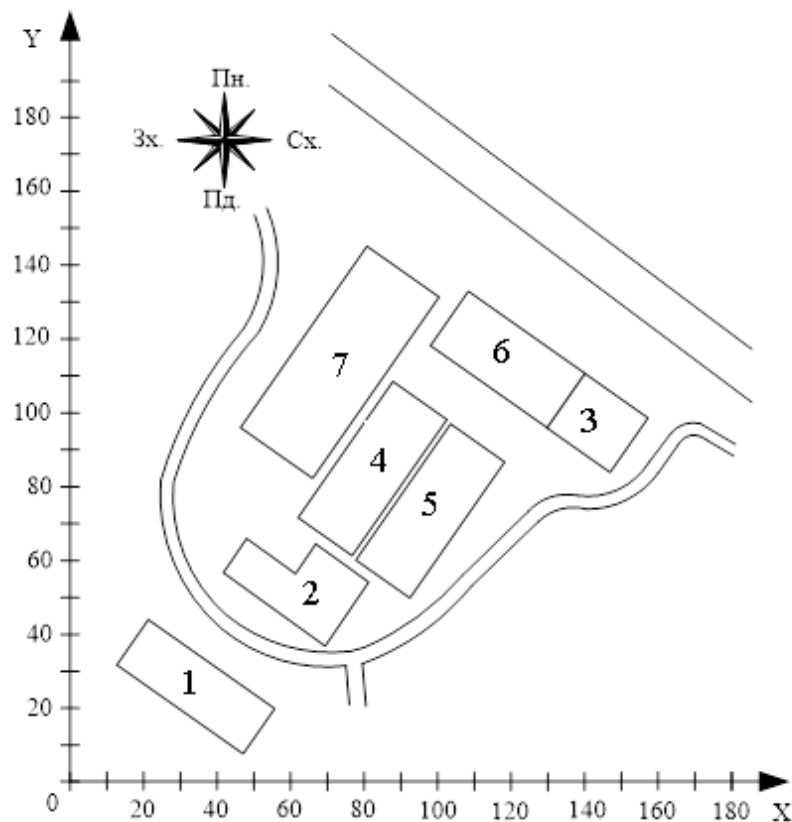


Рисунок 1.1 – Генплан підприємства

Таблиця 1.1 – Відомості про електричні навантаження підприємства

№	Найменування	Рн, кВт
---	--------------	---------

1	Холодильний цех	310
2	Овочесховище	120
3	Адмінбудівля	70
4	Гарячий цех	150
5	Пекарня	150
6	Торговий зал	210
7	Склад	115

## 2 ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АУДИТ

## 2.1.1 Інформація про об'єкт енергетичного аудиту підприємства

Юридична адреса замовника та контактна інформація:

вул. Чехова 23,

м. Вінниця,

Україна, 21034,

т. +38 (0432) 55-43-02.

Форма власності підприємства:

Підприємство є товариством з обмеженою відповідальністю.

Загальні характеристики систем підприємства, які пов'язані з використанням ПЕР:

На підприємстві діють такі системи: система електропостачання, система теплопостачання, система водопостачання та каналізації, система освітлення.

## 2.1.2 Система електропостачання

До системи електропостачання належать лінії електропередач (повітряні і кабельні). Система компенсації реактивної потужності та контроль за використанням встановленої потужності відсутні.

План розташування споруд підприємства зображено на рис.1.1, а значення встановлених потужностей об'єктів електроспоживання підприємства наведено в табл. 1.1.

В табл. 2.1 наведено опис основних електричних навантажень

Таблиця 2.1 – Електроприймачі підприємства

№	Найменування об'єкта	Найменування електроприймачів
---	----------------------	-------------------------------

1	2	3
1	Холодильний цех	Холодильні машини, градирні, електродвигуни.
2	Овочесховище	Освітлення, холодильні установки, вентиляція, градирні.
3	Адмінбудівля	Освітлення, комп'ютери, кондиціонери.
4	Гарячий цех	Освітлення, печі, плити, холодильники.
5	Пекарня	Освітлення, печі.
6	Торговий зал	Освітлення, холодильники, комп'ютери.

#### Режим роботи підприємства

1 зміна по 14 годин

Без вихідних

Кількість робочих днів в рік – 365.

#### Фінансовий стан підприємства

ТОВ «Грош-1» не має заборгованості по зарплаті та за енергоносії.

#### Кількість працівників

Середньоспискова чисельність працівників – 150 осіб.

#### Щорічне споживання ПЕР об'єктом та його структурними одиницями

У ТОВ «Грош-1» використовуються вода, електроенергія та природний газ. Дані про використання вказаних ПЕР подано в табл. 1.3 та 1.4.

Таблиця 2.2 – Загальне споживання енергоносіїв та їх вартість за даними на 2018р.

Енергоносій	Річне споживання	Річні витрати, грн.
Активна	2046 тис. кВт·год.	5115000



електроенергія		
Реактивна електроенергія	1257,7. квар·год.	62885
Природний газ	200 тис. м <sup>3</sup>	1320000
Вода	80464 м <sup>3</sup>	699946,5

Таблиця 2.3 – Дані про щомісячне споживання електроенергії та природного газу підприємством за 2018 р.

Місяць	Споживання активної електроенергії, кВт·год.	Споживання реактивної електроенергії, квар·год.	Споживання газу, тис. м <sup>3</sup>
Січень	231201	176720,6	47
Лютий	355358	233759,4	35
Березень	241701	163020,6	20
Квітень	238416	161049,6	8
Травень	174397	138638,2	7
Червень	174100	152460	5
Липень	106072	95643,2	9
Серпень	101663	80997,8	6
Вересень	142990	123794	8
Жовтень	270896	184537,6	6

Таблиця 2.3 – продовження.

Листопад	270420	194252	19
Грудень	278786	162827,6	30

Разом	2046000	1257700,6	200
-------	---------	-----------	-----

2.1.3 Система тарифів на енергоносії, що їх використовує підприємство, та існуючі обмеження на споживання енергії

ТОВ «Грош-1» сплачує на водопостачання – 8,29 грн. за 1 куб.м, на водовідведення – 3,90 грн. за 1 куб.м.

За активну електроенергію проводиться розрахунок за тризонним тарифом, диференційованим за періодами часу. Роздрібний тариф на електроенергію, значення якого буде множитись на відповідні коефіцієнти в залежності від періоду, складає 2,5 грн./кВт·год. Характеристики диференційованого тарифу наведено в табл. 2.4.

Розрахунок за реактивну електроенергію встановлюється відповідно до методики розрахунків плати за перетоки реактивної електроенергії між енергопостачальною організацією та її споживачами.

Таблиця 2.4 – Показники диференційованого тарифу

Період часу	нічний	денний	напівпіковий	піковий
Двоступені тарифи, диференційовані за періодами часу				
Тарифні коефіцієнти	0,5	1		

Таблиця 2.4 – продовження.

Межі тарифних зон, год	23.00 – 7.00	7.00 – 23.00		
------------------------	--------------	--------------	--	--

Тризонні тарифи, диференційовані за періодами часу				
Тарифні коефіцієнти	0,4		1	1.5
Межі тарифних зон, год	23.00 – 7.00		7.00-8.00; 11.00-20.00; 22-23.00;	8.00-11.00; 20.00-22.00

#### 2.1.4 Наявність і характеристика систем обліку та контролю енергоспоживання

Система комерційного обліку електроенергії представлена електронним трифазним лічильником обліку активної та реактивної енергії, який приєднаний через трансформатори напруги та струму до шин центрального розподільного пристрою підприємства з напругою 10 кВ. Аналогічні лічильники приєднані до шин РП високої напруги двох заводських ТП для здійснення технічного обліку.

#### 2.2 Аналіз попередньо отриманої інформації

- На заводі виготовляється основна лінія продукції, що дозволяє розрахувати норми використання ПЕР і порівняти з аналогічними нормами на інших заводах.
- На підприємстві діє диференційований тариф оплати за електроенергію.
- Системи обліку та контролю енергоспоживання стосовно електроенергії характеризуються лише лічильниками активної та реактивної енергії на ввіді ЦРП підприємства. Лічильники технічного обліку присутні.

• Відсутність контролю за ефективністю використання встановлених потужностей обладнання вказує на необхідність перевірки доцільності впровадження приладового контролю.

- Аналіз систем з використанням ПЕР.

На підприємстві можна виділити такі основні системи (розташовуючи в напрямку від найбільш до найменш енергоємних): електропостачання, опалення, освітлення.

### 2.2.1 Поділ систем на підсистеми (з зазначенням результатів аналізу).

#### Система електропостачання

- Підсистема вироблення енергії: трансформатор
- Підсистема розподілу, перетворення і передачі енергії: лінії електропередач.
- Підсистема навантаження: електроприводи виробничих машин.

#### Система опалення

- Підсистема вироблення енергії: котел.
- Підсистема розподілу і передачі енергії: трубопроводи.
- Підсистема навантаження: радіатори.

#### Система освітлення

- Підсистема вироблення енергії: трансформатор
- Підсистема розподілу і передачі енергії: лінії електропередач.

- Підсистема навантаження: світильники з лампами розжарювання, люмінесцентні лампи, світлодіодні лампи.

### 2.2.2 Можливі заходи з енергозбереження

Виходячи з аналізу попередньої інформації підприємства запропоновано

- Перевірити ефективність застосування нижчевикладених заходів з енергозбереження.

- Перевірка ефективності впровадження установок КРП.

- Перевірка ефективності заміни ламп розжарювання та люмінесцентних ламп на лампи світлодіодні.

- Перевірка ефективності системи опалення.

- Перевірка ефективності встановлення частотних перетворювачів напруги для електропостачання двигунів циркуляційних насосів котельні.

### 2.2.3 Попередній аналіз запропонованих заходів з енергозбереження

Підприємство споживає реактивну енергію обсягом  $W_p = 1257700,6$  квар·год., за яку сплачує  $C = 62885$  грн.

Виходячи з того, що експериментально отримане значення максимальної півгодинної реактивної потужності підприємства складає 1257 квар, то, за необхідності максимальної КРП, доцільно встановити компенсвальну установку. Орієнтовна вартість установки КРП, потужністю 1257 квар, враховуючи витрати на введення в експлуатацію, складає  $V_{кв} = 300$  тис.грн. В такому випадку, простий термін окупності компенсаційної установки складе

$$T = \frac{B_{\text{КУ}}}{C} = \frac{300000}{62885} = 3,18 \text{ (року)}. \quad (1.1)$$

А оскільки облік електроенергії відбувається зі сторони високої напруги на ЦРП і при використанні КРП не тільки знижується оплата за спожиту реактивну енергію, а також за втрати активної енергії в лініях та трансформаторах, то термін окупності установки КРП повинен бути ще нижчим.

#### 2.2.4 Попередній звіт

Під час попередньої перевірки у ТОВ «Грош-1» було встановлено, що підприємство активно працює і має надійний збуту продукції. Виробничі потужності споживають електричну енергію, газ, воду.

Результати попередніх розрахунків показали, що за впровадження системи КРП підприємство щороку буде економити понад 60000 грн., причому компенсаційні установки окупляться в термін до 3,5 років.

Досить немалої питомої потужності на підприємстві має система освітлення. Оскільки в багатьох виробничих приміщеннях використовуються лампи розжарювання та лампи люмінесцентні, то сучасні тенденції енергозбереження у світі вказують на значну вигоду для підприємства у випадку заміни цих ламп на світлодіодні. Вигода полягає як в суттєвому зменшенні витрат за спожиту електроенергію системою освітлення.

Важливою енергоощадною рекомендацією є також і модернізація водяної системи опалення корпусів. Це пояснюється тим, що на даний момент стіни

приміщення не утеплені і багато теплової енергії використовується на непотрібний обігрів зовнішнього простору

Система тепlopостачання також містить електроприводи насосів, регулювання продуктивності яких відбувається за допомогою засувки. Сучасний світовий досвід показує ефективність використання в такому випадку частотних перетворювачів, які здійснюють плавне й економне регулювання швидкості двигунів – приводів насосів.

Таким чином, на підприємстві є доцільною енергоаудиторська перевірка з метою визначення міри ефективності вказаних заходів з енергозбереження.

## 2.2.5 План проведення енергетичного аудиту ТОВ «Грош-1»

Напрямки подальшого енергетичного аудиту

Тип енергетичного аудиту, який буде проводитись, – поєднання простого і попереднього.

Прийнято, що досліджуватись будуть:

- система електропостачання ;
- системи водопостачання та опалення приміщень
- система освітлення

## 2.3 Оброблення інформації про використанняпер

2.3.1 Інформація, необхідна для перевірки ефективності вибору системи компенсації реактивної потужності у ТОВ «Грош-1»

Таблиця 2.5 – Середні потужності та річний обсяг спожитих активної та реактивної енергій цехами підприємства

№	Найменування об'єкта	$P_c$ , кВт	$W_a$ , кВт·год.	$Q_c$ , квар	$W_p$ , квар·год.
1	Холодильний цех	310	1705000	198	1089000
2	Овочесховище	120	660000	92	506000
3	Адмінбудівля	70	385000	55	302500
4	Гарячий цех	150	825000	111	610500
5	Пекарня	150	825000	108	594000
6	Торговий зал	210	1155000	175	962500
7	Склад	115	632500	96	528000
8	Всього	1125	6187500	835	4592500

В табл. 2.5 вказано такі величини:

$W_a$ ,  $W_p$  – обсяг спожитих за рік відповідно активної та реактивної електроенергії (для кожного об'єкта енерговикористання), визначений за даними системи технічного обліку, яка представлена аналоговими лічильниками об'єктів підприємства;

$P_c$ ,  $Q_c$  – середні, відповідно, активна та реактивна потужності об'єктів підприємства за рік, що визначаються за виразами:

$$P_c = \frac{W_a}{T_p}, \text{ кВт}; \quad Q_c = \frac{W_p}{T_p}, \text{ (квар)}. \quad (2.2)$$

де  $T_p$  – час роботи підприємства за рік (5500 год.).



Таблиця 2.6 – Існуючі лінії електропередачі на підприємстві

Лінія	Провідник	Довжина, м
ДЖ-ЦРП	АПвПу-10 3х50	1000
ЦРП - ТП1	АПвЭБВ-10	680

З таблиці 2.7 випливає, що сума показів лічильників води не дорівнює показу лічильника води на вході підприємства. Тому необхідним є здійснити перевірку точності роботи лічильників води підприємства, а також оглянути водопровідні мережі на предмет наявності неефективних витрат води.

Таблиця 2.7 – Відомості про річне споживання теплової енергії та води підприємством

№	Найменування об'єкта	Теплова енергія, Гкал	Вода, м <sup>3</sup>
1	Холодильний цех	175	10012
2	Овочесховище	180	1022
3	Адмінбудівля	480	11033
4	Гарячий цех	200	8760

5	Пекарня	129	11068
6	Торговий зал	125	2345
7	Склад	160	1092
8	Всього	1449	45332

Середній річний час роботи системи освітлення складає  $T_p = 3000$  год. Тариф на активну електроенергію  $V_w = 2,5$  грн./(кВт·год.).

В одному з відділень приміщення, площею  $300 \text{ м}^2$ , використовується 60 люмінесцентних ламп потужністю 100 Вт кожна. Середній річний час роботи системи освітлення складає  $T_p = 3000$  год.

### 2.3.2 Побудова та аналіз характеристик режимів споживання ПЕР

Споживання газу на у ТОВ «Грош-1» вказує на необхідність дослідження характеристик споживання цього ПЕР. На рис. 2.1 показано діаграму споживання газу протягом року. Аналіз показує, що споживання газу в зимовий період в десять разів перевищує літнє споживання. Тому, з огляду на характеристичну діаграму річного споживання газу на підприємстві, виникає необхідність в перевірці ефективності системи опалення, в якій використовується газ.

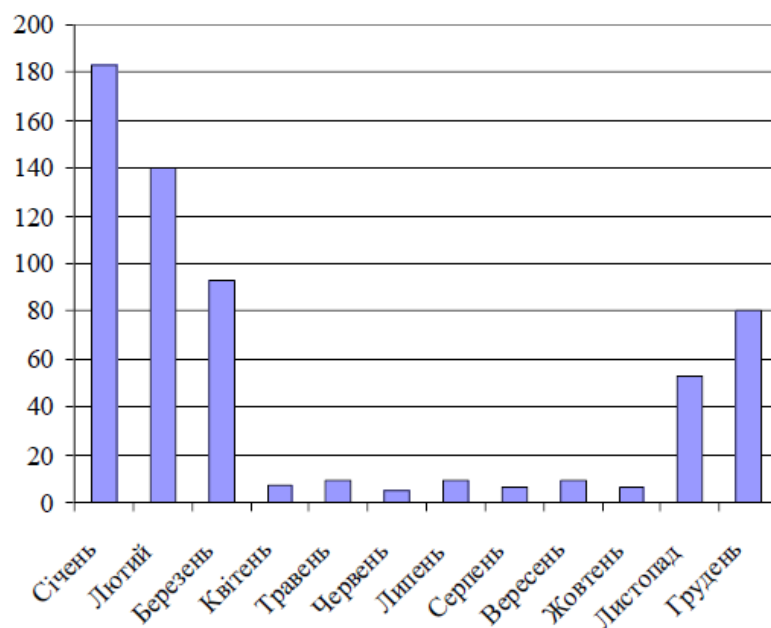


Рисунок 2.1 – Річне споживання газу підприємством за 2018 рік

### 2.3.1 Складання та аналіз паливно-енергетичних балансів

На основі даних про споживання ПЕР на підприємстві за 2018 рік (див. табл. 2.1, 2.3) побудовано паливно-енергетичні баланси, що демонструють розподіл ПЕР по цехах і показують величину втрат.

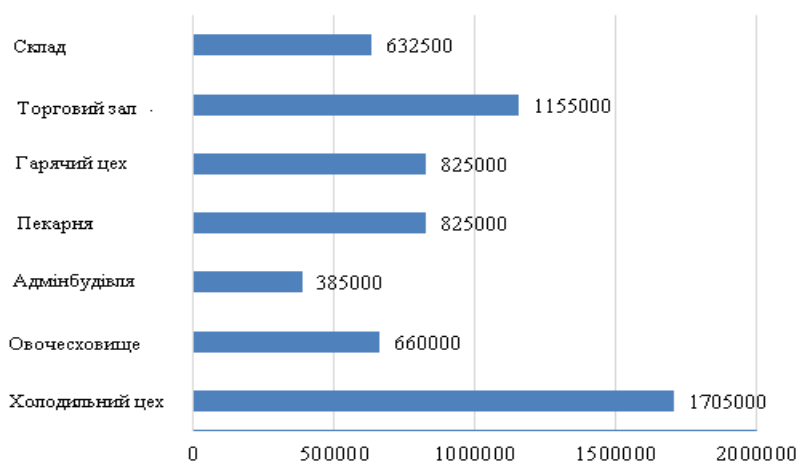


Рисунок 2.2 – Баланс використання електроенергії у ТОВ «Грош-1»

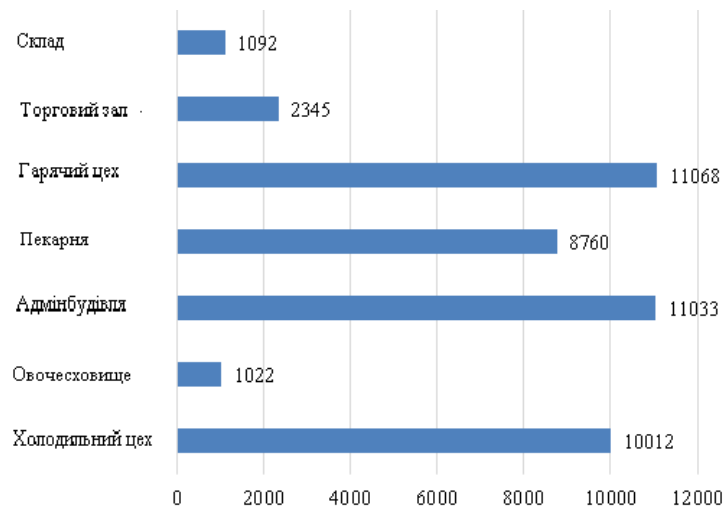


Рисунок 2.3 – Баланс використання води у ТОВ «Грош-1»

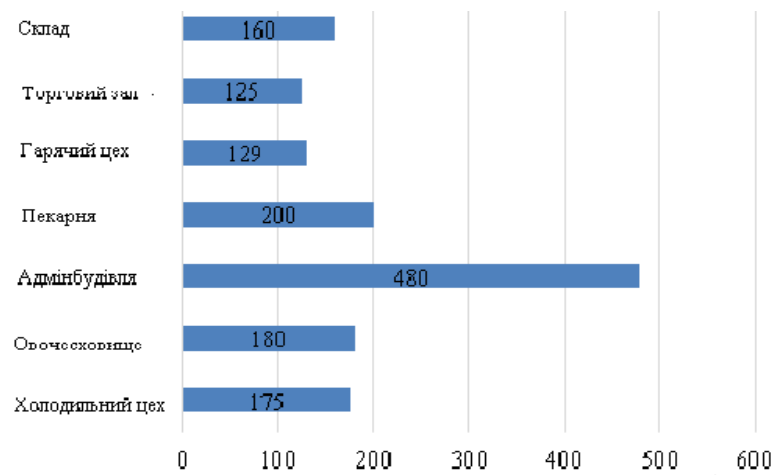


Рисунок 2.4 – Баланс використання теплової енергії на підприємстві

### 2.3.3 Визначення питомих норм споживання ПЕР

електроенергія:  $W = 6187500$  кВт·год.;

газ:  $V = 200000$  м<sup>3</sup>;

вода:  $V = 45332$  м<sup>3</sup>;

Загальновиробничі норми використання ПЕР розраховуються за формулою:

$$H = \frac{\text{ПЕР}}{B_{\Sigma}}, \text{ од. ПЕР/грн. (прод)}. \quad (2.3)$$

Загальновиробнича заводська норма використання електроенергії за 2018р.:

$$H = \frac{6187500}{21600000} = 0,38 \text{ (м}^3\text{/грн. прод.)}$$

Загальновиробнича норма використання газу за 2018 р.:

$$H = \frac{200000}{21600000} = 0,009 \text{ (м}^3\text{/грн. прод.)}$$

Загальновиробнича норма використання води за 2018 р.:

$$H = \frac{45332}{21600000} = 0,002 \text{ (м}^3\text{/грн. прод.)}$$

## 2.4 Розроблення і обґрунтування рекомендацій щодо підвищення ефективності використання пер у ТОВ «Грош-1»

Для виконання перевірки необхідно за однолінійною схемою системи електропостачання скласти електричну схему заміщення.

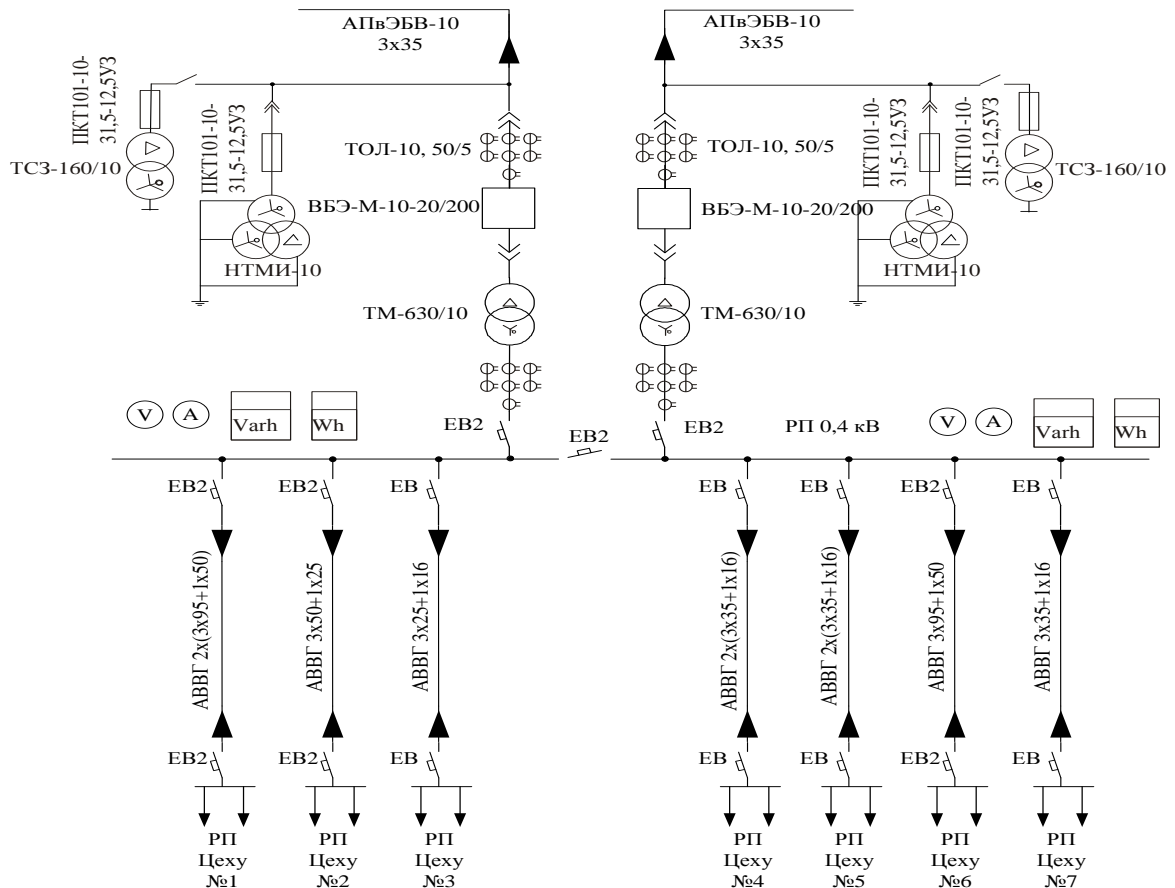


Рисунок 2.5 – Однолінійна схема системи електропостачання підприємства

Критерій ефективності використання компенсації реактивної потужності на підприємстві:

$$T = \frac{K}{E}, \quad (2.4)$$

де  $T$  – термін окупності системи КРП, років;

К – капіталовкладення в систему КРП, грн.;

Е – економія коштів внаслідок встановлення системи КРП, грн.

#### 2.4.1 Визначення економії коштів внаслідок встановлення системи КРП.

Економія коштів є різницею між витратами, що пов'язані з протіканням реактивної потужності по мережах підприємства до встановлення установок КРП ( $V^{до}$ ) і після їх встановлення ( $V^{після}$ ):

$$E = V^{до} - V^{після}. \quad (2.5)$$

Витрати до та після застосування конденсаторних установок містять такі складові

$$V^{до} = V_{втр}^{до} + V_{Wp}^{до}, \text{ (грн)}. \quad (2.6)$$

$$V^{після} = V_{втр}^{після} + V_{Wp}^{після} + V_{втр}^{БК}, \text{ (грн)}. \quad (2.7)$$

де  $V_{втр}^{до} = \sum_{i=1}^n \Delta W_i^{до} \cdot C_{Wa}$ ,  $V_{втр}^{після} = \sum_{i=1}^n \Delta W_i^{після} \cdot C_{Wa}$  – вартість втрат активної енергії в  $n$  елементах системи електропостачання (СЕР) (лініях і трансформаторах), тут  $\Delta W_i^{до}$ ,  $\Delta W_i^{після}$  – втрати активної енергії в  $i$ -му елементі СЕР,  $C_{Wa}$  – тариф на електроенергію, грн./кВт·год.);

$$V_{втр}^{БК} = \sum_{j=1}^m \Delta W_j^{БК} \cdot C_{Wa} \text{ – вартість втрат активної енергії в батареях статичних}$$

конденсаторів компенсаційних установок;

$B_{Wp}^{до}$ ,  $B_{Wp}^{після}$  – вартість перетоків реактивної електроенергії

$$B_{Wp} = B_1 + B_2 - B_3, \text{ (грн)}. \quad (2.8)$$

В свою чергу складові виразу (5) визначаються таким чином:

$$B_1 = (W_p^{сп} + K \cdot W_p^{ген}) \cdot D \cdot C_{Wa}, \text{ (грн)}. \quad (2.9)$$

де  $W_p^{сп}$  – споживана реактивна енергія в точці обліку, квар·год.;

$W_p^{ген}$  – генерована реактивна енергія в точці обліку, квар·год.;

$K = 3$  – нормативний коефіцієнт врахування збитків;

$D$  – економічний еквівалент реактивної потужності;

$$B_2 = B_1 \cdot C_{БАЗ} \cdot (K_\phi - 1), \text{ грн}. \quad (2.10)$$

де  $B_2$  – надбавка за недостатнє оснащення електричної мережі споживача засобами компенсації реактивної потужності;

$C_{БАЗ} = 1,3$  – нормативне базове значення коефіцієнта стимулювання капітальних вкладень в засоби КРП в електричних мережах споживача;

$K_\phi$  – коефіцієнт, що визначається за виразами

$$K_\phi = (\text{tg } \phi - 0,25)^2 + 1 - \text{для промислових споживачів}; \quad (2.11)$$



$$K_{\varphi} = (\operatorname{tg} \varphi - 0,75)^2 + 1 - \text{для непромислових споживачів.} \quad (2.12)$$

Значення коефіцієнта реактивної потужності споживача в середньому за розрахунковий період

$$\operatorname{tg} \varphi = W_p^{\text{сп}} / W_a^{\text{сп}}. \quad (2.13)$$

Складова  $B_3$  є зниженням плати за споживання та генерування реактивної електроенергії за умови достатнього оснащення електричної мережі споживача засобами КРП і узгодженням з енергопостачальною організацією.

Відповідно до, втрати електроенергії в електричній мережі визначаються з використанням коефіцієнта форми графіка навантаження за струмом, що, значною мірою, враховує нерівномірність графіка навантаження

$$\Delta W = 3 \cdot k_{\phi I}^2 \cdot I_c^2 \cdot R \cdot T \cdot 10^{-3}, \text{ (кВт}\cdot\text{год)}. \quad (2.14)$$

де  $k_{\phi I} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot t_i / \sum_{i=1}^n t_i}}{\sum_{i=1}^n I_i \cdot t_i / \sum_{i=1}^n t_i}$  – коефіцієнт форми графіка навантаження за струмом, тут  $I_i$

– середній струм навантаження в  $i$ -му періоді вимірювання,

який може вимірюватись або розраховується за виразом

$$I_c = \frac{\sqrt{P_c^2 + Q_c^2}}{\sqrt{3} \cdot U}, \text{ (А)}. \quad (2.15)$$

тут  $P_c$ ,  $Q_c$  – відповідно, середні активна та реактивна потужності навантаження, що живиться через елемент системи електропередачі;

$U$  – напруга елемента лінії електропередачі, кВ.

$I_c$  – середній струм, який може визначатись за виразом (12) або

$$I_c = \frac{\sqrt{W_a^2 + W_p^2}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot T}, \text{ (A)}. \quad (2.16)$$

Річні втрати електроенергії в трансформаторах визначаються за виразом

$$\Delta W_{\text{тр}} = \Delta P_{\text{хх}} T_{\text{тр}} + \beta^2 \Delta P_{\text{кз}} T_{\text{н}}, \quad (2.17)$$

де  $\Delta P_{\text{хх}}$  – втрати холостого ходу трансформатора, кВт;

$\Delta P_{\text{кз}}$  – втрати короткого замикання трансформатора, кВт;

$T_{\text{тр}}$  – час, протягом якого трансформатор приєднано до мережі, год.;

$T_{\text{н}}$  – час, протягом якого трансформатор під навантаженням, год.;

$\beta$  – коефіцієнт завантаження трансформатора, квадрат якого за умов змінного навантаження визначається за виразом:

$$\beta^2 = \frac{k_{\text{фа}}^2 P_c^2 + k_{\text{фр}}^2 Q_c^2}{S_{\text{н}}^2}, \quad (2.18)$$

тут  $k_{\text{фа}}$  – коефіцієнт форми графіка активної потужності;

$k_{\text{фр}}$  – коефіцієнт форми графіка реактивної потужності;

$P_c$  – середнє значення активної потужності за розрахунковий період;

$Q_c$  – середнє значення реактивної потужності.

Величини  $P_c$  та  $Q_c$  визначаються для кожної лінії як суми середніх потужностей цихів, що живляться від конкретного трансформатора.

Розрахунок реалізовано з використанням електронних таблиць Excel.

Під час розрахунку прийняті коефіцієнти форми графіків струму, активної та реактивної потужності

$$k_{\text{фл}} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}}}{\frac{\sum_{i=1}^n I_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}}; k_{\text{фа}} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_{ci}^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}}}{\frac{\sum_{i=1}^n P_{ci} \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}}; k_{\text{фр}} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n Q_{ci}^2 \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}}}{\frac{\sum_{i=1}^n Q_{ci} \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}}. \quad (2.19)$$

де  $P_c$ ,  $Q_c$  – значення середніх потужностей на  $i$ -му інтервалі вимірювання.

Під час інтервалу вимірювання в 1 год. ці потужності дорівнюють значенню спожитої електроенергії. Тому їх можна легко отримати з використанням лічильників активної та реактивної енергії.

В таблиці 2.8 наведено розрахунок зниження вартості втрат електроенергії в трансформаторах за допомогою електронних таблиць Excel.

Таблиця 2.8 – Визначення вартості зниження втрат електроенергії в трансформаторах підприємства

Еле- мент	dP хх, кВ	dPк з,к	Sн, кВ	Pс, кВт	Qс, кВА	T, год	кф а	к ф	C, грн/ кВт	Ввтр.д о,	Ввтр. після,гр	Еконо- мія,грн
--------------	-----------------	------------	-----------	------------	------------	-----------	---------	--------	-------------------	--------------	-------------------	-------------------

	т	Вт	А		р			р	*го д	грн	н	
Тр-р №1	1,3	7,6	630	520	327	876 0	1,3	1, 28	2,5	308299, 7	226016,8	82282,9
Тр-р №2	1,3	7,6	630	300	110	876 0	1,3	1, 29	2,5	93385,4	83928,36	9457,1
Сум а												91740,1

Таблиця 2.9 – Визначення вартості зниження втрат електроенергії в кабельних лініях підприємства

Еле- мент	кф Ід о	кф Іпі сл я	Рс , кВ т	Qс, ква р	Т, год	U, кВ	I, км	R0 Ом/к м	С, грн/к Вт*г од	Ввтр. до,грн	Ввтр. п, грн	Еконо м.,грн
Кл 1	1,2 8	1,2 7	82 0	437	876 0	10	0,6 8	1,1	2,5	23535 4	18329 5	52058, 06

Таблиця 2.10 – Визначення величини зниження оплати за електроенергію підприємством внаслідок КРП

Wасп, кВт*год	Wрсп, кВт*год	tgf	D, кВт/ква р	С, грн/кВт*го д	Сба з	В1, грн	В2, грн	ВWр, грн
6187500	4592500	0,75	0,05	2,5	1,3	257180	18645 5	443635, 5

Підсумовуючи результати розрахунків, що наведені в таб. 2.8 – 2.10, отримуємо прогнозоване значення повної економії підприємства.

Термін окупності компенсувальних пристроїв очікується таким, що дорівнює

$$T = \frac{B_{\text{кв}}}{C} = \frac{300000}{535375,6} = 0,56 \text{ (року)}. \quad (2.20)$$

#### 2.4.2 Перевірка ефективності системи освітлення

Актуальність проведення аудиту зумовлена великою часткою освітлювального навантаження на підприємстві, що досліджується.

Хід побудови математичної моделі перевірки ефективності заходу з енергозбереження наводиться нижче.

Пропонується показник ефективності – значення приведеної річної економії коштів, що визначається за виразом:

$$E_p = \frac{B^{Л1} - B^{Л2}}{T_{\text{роз}}} \rightarrow \max, \quad (2.21)$$

де  $B^{Л1}$ ,  $B^{Л2}$  – витрати, що пов'язані з використанням відповідно працюючої і альтернативної ламп за розрахунковий період, грн.;

$T_{\text{роз}}$  – розрахунковий період, за який розраховуються витрати в системі освітлення, років.

$$T_{\text{роз}} = \frac{T_{\text{макс}}}{T_p}, \quad (2.22)$$

де  $T_{\text{макс}}$  – найбільший термін служби порівнюваних ламп, год.;

$T_p$  – річний час роботи системи освітлення, год./рік.

Витрати на діючу систему освітлення за розрахунковий період:

$$B^{Л1} = \left( \text{Окр} > \left\{ \frac{T_{\text{макс}} - T_{\text{зал}}}{T_{\text{Л}}} \right\} K_{\text{Л}} + P_{\text{Лн}} \cdot T_{\text{макс}} \cdot B_{\text{W}} \right) \cdot n, \quad (2.23)$$

де  $\text{Окр} >$  – символ, що означає округлення результату у фігурних дужках до більшого цілого;

$T_{\text{Л}}$  – номінальний термін служби ламп, год.;

$T_{\text{зал}}$  – залишковий термін роботи діючої лампи до її заміни, год.;

$K_{\text{Л}}$  – вартість лампи, грн.;

$P_{\text{Лн}}$  – номінальна потужність лампи, кВт.;

$B_{\text{W}}$  – тариф на електроенергію, грн./кВт·год.;

$n$  – кількість ламп даного типу в системі освітлення.

Витрати на альтернативну систему освітлення за розрахунковий період:

$$B^{Л2} = \left( \frac{T_{\text{макс}}}{T_{\text{Л}}} K_{\text{Л}} + P_{\text{Лн}} \cdot T_{\text{макс}} \cdot B_{\text{W}} \right) \cdot n - K_{\text{ЛКВ}}, \quad (2.24)$$

де  $K_{\text{ЛКВ}}$  – ліквідна вартість ламп діючої системи освітлення.

Система зовнішнього освітлення у ТОВ «Грош-1» складається з 18 люмінесцентних ламп потужністю 36 Вт кожна. Середній річний час роботи

системи освітлення складає  $T_p = 3500$  год. Тариф на активну електроенергію  $B_w = 2,5$  грн./кВт·год.

Пропонується замінити люмінесцентні лампи на світлодіодну лампу. Світлова віддача світлодіодних ламп майже в два рази вища ніж у люмінесцентних.. Характеристики обох видів ламп наведені в табл. 3.2.

Таблиця 2.11 – Порівняльні характеристики люмінесцентних ламп і світлодіодних ламп

Лампа	Потужність, Вт	Світловий потік, лм	Термін служби, год.	Цоколь	Ціна, грн.
Люмінесцентна	36	2500	6000	G13	20
Світлодіодна	18	1368	50000	T8	135

Серед двох типів ламп, які досліджуються, найбільший строк служби є у світлодіодної лампи. Тому  $T_{\max} = 50000$  год.

Лампи люмінесцентні вже працювали 2 000 год., тому залишковий термін роботи до їх заміни приймаємо  $T_{\text{зал}} = 6000 - 2000 = 4000$  (год).

Витрати на систему освітлення з люмінесцентними лампами за розрахунковий період

$$B_{\text{дрл}} = \left( O_{\text{кр}} > \left\{ \frac{50000 - 4000}{6000} \right\} \cdot 20 + 36 \cdot 10^{-3} \cdot 50000 \cdot 1 \right) \cdot 18 = 35160 \text{ (грн.)}, \quad (2.25)$$

а з світлодіодними лампами,

$$B_{\text{НЛ}} = \left( \frac{50000}{50000} \cdot 135 + 18 \cdot 10^{-3} \cdot 50000 \cdot 1 \right) \cdot 18 = 18630 \text{ (грн.)}. \quad (2.26)$$

Розрахунковий період визначення витрат в системі освітлення:

$$T_{\text{роз}} = \frac{50000}{6000} = 8,3 \text{ (року)}. \quad (2.27)$$

Отже, витрати визначені за період в 8,3 року. Це справедливо за припущення, що всі лампи працюють точно визначений термін роботи.

Визначимо приведену до одного року економію коштів внаслідок заміни в системі ламп люмінесцентними на світлодіодні.

$$E_p = \frac{35160 - 18630}{8,3} = 1991,5 \text{ (грн.)}. \quad (2.28)$$

Простий термін окупності модернізованої системи освітлення

$$T = \frac{K_{\text{НЛ}} \cdot n}{E_p} = \frac{135 \cdot 18}{1991,5} = 1,2 \text{ (року)}. \quad (2.29)$$

Таким чином, оскільки річна економія коштів внаслідок модернізації системи освітлення дорівнює близько 1,9 тис. грн., а термін окупності капіталовкладень не перевищує 1,2 року, модернізація системи освітлення шляхом заміни ламп люмінесцентними на світлодіодні є ефективною.



## 2.5 Підвищення ефективності системи інфрачервоного опалення приміщень підприємства

На підприємстві в цехах організоване водяне опалення. За умов неповного завантаження виробничих площ частина тепла витрачається нераціонально, тому що здійснюється обігрів усього корпусу, а не лише робочих місць.

Пропонується в цехах, замість існуючої системи опалення встановити над робочими місцями системи інфрачервоного опалення, які повинні відповідати вимогам. Запропоновані системи мають ряд переваг у порівнянні з традиційними системами:

- обігрівають в першу чергу людей і предмети;
- забезпечують корисний, екологічно чистий та економічний обігрів;
- прогрівають необхідні ділянки в приміщенні;
- ідеально підходять для тимчасового обігріву;
- обігрівають важкодоступні ділянки; мають швидку передачу тепла;
- протяги не впливають на обігрів;
- тепло можна подавати направлено;
- прості в експлуатації;
- не мають неприємних та шкідливих запахів;
- працюють безшумно;
- не сушать повітря;
- не викликають головного болю;
- не знижують рівень кисню в приміщенні;
- у порівнянні з іншими системами обігріву безпечні щодо можливості отруєння і займання;
- перешкоджають появі мікроорганізмів і бактерій;

- забезпечують економію паливно-енергетичних ресурсів;
- дозволяють організацію чергового опалення в неробочий час

За даними підприємства на потреби опалення та вентиляції в цехах протягом 2018 р. було витрачено  $V_2 = 2078$  тис. м<sup>3</sup> природного газу.

Пропонується над робочою зоною цеху встановити 20 промислових інфрачервоних обігрівачів IR 3000 компанії Friso потужністю 3 кВт і вартістю  $B_n = 11000$  грн. кожний. В черговому режимі такий обігрівач може мати мінімальну потужність 1 кВт.

З урахуванням чергового режиму, що потребує 30% витрат електроенергії основного режиму, споживання електроенергії в опалювальний період складе:

$$W = n \cdot (P_1 \cdot t_1 \cdot 100 + P_2 \cdot t_2 \cdot 100 + P_2 \cdot 24 \cdot 50), \text{ кВт}\cdot\text{год}, \quad (2.30)$$

$$W = 20 \cdot (3 \cdot 18 \cdot 100 + 2 \cdot 9 \cdot 100 + 1 \cdot 24 \cdot 50) = 168000, \text{ (кВт}\cdot\text{год.)}. \quad (2.31)$$

Річна економія витрат, грн.

$$E = V_r \cdot C_r - W \cdot C_w, \quad (2.32)$$

де  $C_r$ ,  $C_w$  – тарифи на газ та електроенергію, відповідно грн./тис.м<sup>3</sup> та грн./(кВт·год.).

$$E = 200 \cdot 6600 - 168000 \cdot 2,5 = 1740000 \text{ (грн.)}. \quad (2.33)$$

Вартість устаткування:  $V_y = n \cdot V_n = 20 \cdot 11000 = 220000$  (грн.). Витрати на введення в експлуатацію приймаємо в розмірі  $V_{\text{пр.м.}} = 100000$  грн.

Загальні витрати:

$$K = V_y + V_{\text{пр.м.}} = 220000 + 100000 = 320000 \text{ (грн.)}. \quad (2.34)$$

Оцінка простої окупності:

$$T = \frac{K}{E_{\text{витр}}} = \frac{320000}{1740000} = 0,18 \text{ (року)}. \quad (2.35)$$

Таким чином, оскільки термін окупності невеликий, використання інфрачервоних обігрівачів може бути ефективним і давати економію коштів підприємства більшу, ніж 100 тис. гривень щороку.

### 3 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ З РЕГЕНЕРАЦІЄЮ СКИДНОГО ТЕПЛА ТРАНСФОРМАТОРА

Формулювання задачі.

Розрахункова схема використання скидного тепла трансформатора для гарячого водопостачання наведена на рисунку – 3.1.

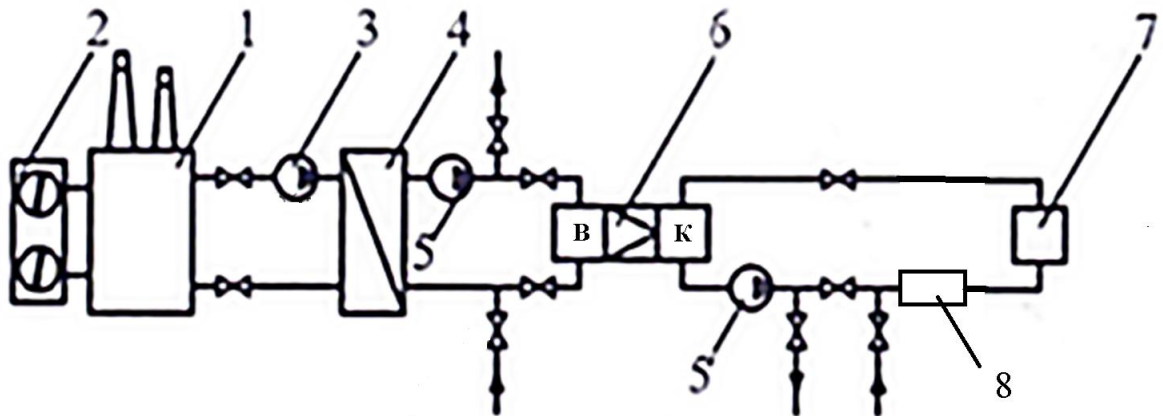


Рисунок 3.1 - Розрахункова схема використання скидного тепла трансформатора для гарячого водопостачання (1 – трансформатор; 2 – охолоджувач; 3 – масляний насос; 4 – теплообмінник масло-вода; 5 – водяний насос; 6 – теплонасосна установка (ТНУ); 7 – споживач тепла); 8 – електронігрівник;

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 стиску в компресорі ТНУ. Далі теплота фреону в конденсаторі ТНУ передається воді, яка догрівається в електричному нагрівнику і надходить споживачу.

При заданій тепловій потужності  $Q$  системи гарячого водопостачання вода нагрівається відведеним від трансформатора теплом в теплообміннику до температури  $T_1$ , далі нагрівається в ТНУ до температури  $T_x$ , догрівається в електронагрівачу до заданої температури гарячого водопостачання  $T_{гвп}$ .

Приведені затрати на систему гарячого водопостачання  $Z_{сум}$  визначаються як сума затрат на теплообмінник  $Z_{то}$ , електроенергію приводів масляного та водяного насосів  $Z_{еемн}$  та  $Z_{еевн}$ , електроенергію приводу ТНУ  $Z_{еетну}$ , електроенергію догрівача  $Z_{еед}$ , затрат на придбання ТНУ  $Z_{тну}$  та догрівача  $Z_{д}$ .

$$Z_{\text{сум}} = Z_{\text{то}} + Z_{\text{емн}} + Z_{\text{евн}} + Z_{\text{етну}} + Z_{\text{ед}} + Z_{\text{тну}} + Z_{\text{д}}. \quad (3.1)$$

Затрати  $Z_{\text{сум}}$  є функцією температури  $T_x$ . Необхідно дослідити вплив температури  $T_x$  на затрати  $Z_{\text{сум}}$ .

Розрахунки виконаємо за методикою: тепловий розрахунок трансформатора; розрахунки приведених затрат на теплообмінник, насоси, ТНУ, електронагрівач; складання програми для ЕОМ розрахунку сумарних приведених затрат на систему гарячого водопостачання; параметричні дослідження системи гарячого водопостачання за допомогою програми.

Початкові дані:

Теплова потужність гарячого водопостачання  $Q = 40$  квт

Температура гарячої води  $60^\circ\text{C}$

### 3.1 Тепловий розрахунок трансформатора потужністю 630 Ква

Задана температура масла на вході в трансформатор складає 25 градусів. Метою розрахунку є визначення потужності теплових втрат трансформатора, витрати масла та температури масла на виході з трансформатора. Результати теплового розрахунку трансформатора наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати теплового розрахунку трансформатора

Назва величини та її розмірність	Одиниці вимірювання	Розрахунок
1	2	3
внутрішні перепад температурВН	$^\circ\text{C}$	5,63
внутрішні перепад температурНН	$^\circ\text{C}$	1,223
Питомі втрати	$\text{Вт/м}^3$	37351

Теплопровідність междуслойной ізол.	Вт/(м*С)	0,76
середня умовна теплопровід. обмотки	Вт/(м*С)	0,94
Середнє перевищення температури обмотки над маслом ВН	°С	16,8
Середнє перевищення температури обмотки над маслом НН	°С	21,51
Ширина бака	м	0,55
Длина бака	м	1,35
Глибина бака	м	1,3
Сер. перевищення температури бака над повітрям	°С	52,19

Розраховані перегрів масел і обмоток не перевищують допустимих норм. Теплова потужність втрат трансформатора прийнята 23 кВт, що відповідає витраті масла 0,75 кг/с при температурі масла на виході з трансформатора 45 °С.

### 3.2 Розрахунок теплообмінника та насосів

Метою розрахунку є визначення приведених затрат на теплообмінник масло-вода.

Визначимо теплову потужність і гідравлічні опори турбінного масла при його охолодженні водою, яка спрямовується потім в ТНУ. Охолодження масла здійснюється в кожухотрубному теплообміннику з перегородками в міжтрубному просторі. При вирішенні задачі використовуємо методику теплового перевірного розрахунку.

Масло тече в міжтрубному просторі, вода - всередині труб. Внутрішній діаметр кожуха  $D_0 = 0,16$  м; зовнішній діаметр труб  $d_1 = 0,012$  м; внутрішній  $d_2 = 0,01$  м; робоча довжина  $L = 746$  мм; число труб  $n = 32$  шт.; теплопровідність матеріалу труб  $\lambda_s = 58$  Вт / (м К); поверхня теплообміну з боку води  $F_2 = 1,5$  м<sup>2</sup>; число перегородок в міжтрубному просторі  $m = 10$ ; розташування трубок - по кутах рівностороннього трикутника, крок між трубками  $S = 0,01$  м; товщина перегородки  $\delta = 0,001$  м.

Гарячий теплоносіє (масло турбінне):

- витрата  $G_1 = 0,2$  (кг/с);
- температура масла на вході  $t'_1 = 45$  (°C).

Холодний теплоносіє (вода):

- витрата  $G_2 = 1,8$  (кг/с)
- температура води на вході  $t'_2 = 25$  (°C).

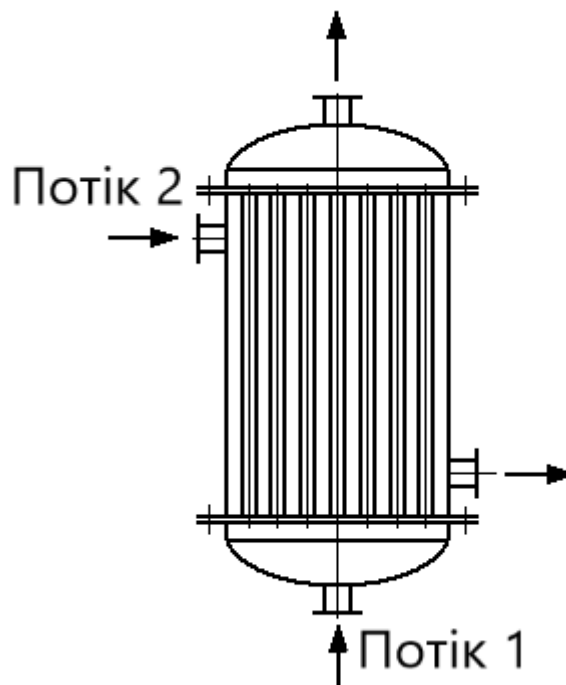


Рисунок 3.2 – Теплообмінник типу «кожухотрубчатий»

Для визначення теплофізичних властивостей теплоносіїв задамося їх температурами на виході з теплообмінника. Прийmemo, що на виході масла і води відповідно вони рівні:  $t_1'' = 36 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_2'' = 26 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Середні температури теплоносіїв:

$$t_1 = \frac{t_1'' + t_1'}{2} \text{ (}^\circ\text{C)}, \quad (3.2)$$

$$t_1 = \frac{36 + 45}{2} = 40,5 \text{ (}^\circ\text{C)};$$

$$t_2 = \frac{t_2'' + t_2'}{2} \text{ (}^\circ\text{C)}, \quad (3.3)$$

$$t_2 = \frac{26 + 25}{2} = 25,5 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Теплофізичні властивості теплоносіїв при середніх температурах:

Масло:

$$\rho_1 = 865 \text{ кг/м}^3;$$

$$c_{p1} = 1930 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)};$$

$$\lambda_1 = 0,128 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)};$$

$$\nu_1 = 35 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$\mu_{cm} = 30,3 \cdot 10^{-3} \text{ кг/(м}\cdot\text{с)};$$

$$Pr_1 = 421.$$

Вода:



$$\rho_2 = 995 \text{ кг/м}^3;$$

$$Cp_2 = 4180 \text{ Дж/(кг·К)};$$

$$\lambda_2 = 0,61 \text{ Вт/(м·К)};$$

$$\nu_2 = 0,985 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$Pr_1 = 6,5.$$

Крок між поперечними перегородками в міжтрубному просторі:

$$t_{II} = \frac{L}{m} = 0,0550 \text{ (м)}. \quad (3.4)$$

Швидкість води в трубах:

$$w_2 = \frac{4G_2}{\rho_2 \cdot \pi \cdot d_2^2 \cdot n} \text{ (м/с)}, \quad (3.5)$$

$$w_2 = \frac{4 \cdot 1,8}{995 \cdot 3,14 \cdot 0,01^2 \cdot 32} = 0,72 \text{ (м/с)}.$$

Число Рейнольдса для води:

$$\text{Re}_2 = \frac{w_2 \cdot d_2}{\nu_2}, \quad (3.6)$$

$$\text{Re}_2 = \frac{0,72 \cdot 0,01}{0,985 \cdot 10^{-6}} = 7310.$$

Число Нуссельта при турбулентному протіканні:

$$\text{Nu}_2 = 0,023 \cdot \text{Re}_2^{0,8} \cdot \text{Pr}_2^{0,4}, \quad (3.7)$$

$$\text{Nu}_2 = 0,023 \cdot 7310^{0,8} \cdot 6,5^{0,4} = 60.$$

Коефіцієнт тепловіддачі з боку води:

$$a_2 = \frac{\text{Nu}_2 \cdot \lambda_2}{d_2} \text{ (Вт/(м}^2 \cdot \text{К))}, \quad (3.8)$$

$$a_2 = \frac{60 \cdot 0,61}{0,01} = 3660 \text{ (Вт/(м}^2 \cdot \text{К))}.$$

Число трубок в середньому перерізі кожуха теплообмінника:

$$n_0 = \frac{D_0}{S_1}, \quad (3.9)$$

$$n_0 = \frac{0,16}{0,02}.$$

Приймаємо відношення висоти сегмента до діаметру обичайки:

$$h/D_0 = 0,25. \quad (3.10)$$

Тоді для  $t_n/D_0 = 0,0746 / 0,16 = 0,466$  з табл.1 [26] знаходимо  $\chi = 0,81$ .

Живий перетин по міжтрубному просторі дорівнює:

$$F_{жс} = \frac{(L - m \cdot \delta) \cdot (S_1 - d_1) \cdot n_0}{m} \cdot \chi \text{ (м}^2\text{)}, \quad (3.11)$$

$$F_{жс} = \frac{(0,550 - 5 \cdot 0,002) \cdot (0,02 - 0,012) \cdot 8}{10} \cdot 0,81 = 0,00352 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Швидкість масла в міжтрубному просторі:

$$w_1 = \frac{G_1}{\rho_1 \cdot F_{\delta}} \text{ (м/с)}, \quad (3.12)$$

$$w_1 = \frac{0,2}{865 \cdot 0,00352} = 0,07 \text{ (м/с)}.$$

Число Рейнольдса:

$$\text{Re}_1 = \frac{w_1 \cdot d_1}{\nu_1}, \quad (3.13)$$

$$\text{Re}_1 = \frac{0,07 \cdot 0,012}{35 \cdot 10^{-6}} = 24.$$

Приймаючи число рядів труб  $Z$  рівним числу труб в середньому перерізі кожуха теплообмінника  $n_0$ , з рівняння знаходимо поправку на число рядів труб по ходу теплоносія в міжтрубному просторі:

$$\varphi_z = 0,816 + 0,0361 \cdot Z + 0,18 \cdot 10^{-3} \cdot \text{Re} - 0,143 \cdot 10^{-2} \cdot Z^2 + 0,353 \cdot 10^{-7} \cdot \text{Re}^2 + 0,932 \cdot 10^{-5} \cdot Z \cdot \text{Re},$$

$$\varphi_z = 0,816 + 0,0361 \cdot 8 + 0,18 \cdot 10^{-3} \cdot 100 - 0,143 \cdot 10^{-2} \cdot 8^2 + 0,353 \cdot 10^{-7} \cdot 100^2 + 0,932 \cdot 10^{-5} \cdot 8 \cdot 100 = 1.$$

Приймаємо температуру стінки труб в теплообміннику  $t_c = 31^\circ \text{C}$ , число Прандтля при цій температурі  $Pr_c = 919$ . І число Нуссельта:

$$Nu_1 = 0,6 \cdot \text{Re}^{0,5} \cdot \text{Pr}^{0,36} \cdot \left( \frac{\text{Pr}_1}{\text{Pr}_c} \right)^{0,25} \cdot \varphi_z, \quad (3.14)$$

$$Nu_1 = 0,6 \cdot 24^{0,5} \cdot 421^{0,36} \cdot \left( \frac{884}{919} \right)^{0,25} \cdot 1 = 5,23.$$

Коефіцієнт тепловіддачі з боку гарячого теплоносія:

$$a_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_1} \text{ (Вт/(м}^2 \cdot \text{К))}, \quad (3.15)$$

$$a_1 = \frac{5,23 \cdot 0,128}{0,01} = 67 \text{ (Вт/(м}^2 \cdot \text{К))}.$$

Коефіцієнт теплопередачі, віднесений до внутрішньої поверхні трубок:

$$a_2 = \left( \frac{d_2}{d_1 \cdot a_2} + \frac{d_2}{2 \cdot \lambda} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{a_2} \right)^{-1} \text{ (Вт/(м}^2 \cdot \text{К))}, \quad (3.16)$$

$$a_2 = \left( \frac{0,01}{0,012 \cdot 67} + \frac{0,01}{2 \cdot 58} \cdot \ln \frac{0,012}{0,01} + \frac{1}{3660} \right)^{-1} = 78,57 \text{ (Вт/(м}^2 \cdot \text{К))}.$$

Теплові еквіваленти теплоносіїв:

$$W_1 = G_1 \cdot C_{p1} \text{ (Вт/К)}, \quad (3.17)$$

$$W_1 = 0,2 \cdot 1930 = 386 \text{ (Вт/К)};$$

$$W_2 = G_2 \cdot C_{p2} \text{ (Вт/К)}, \quad (3.18)$$

$$W_2 = 1,8 \cdot 4180 = 7524 \text{ (Вт/К)}.$$

Так як  $W_2 > W_1$ ,  $W_2$ - максимальний тепловий еквівалент ( $W_{\text{макс}}$ ), а  $W_1$ - мінімальний ( $W_{\text{мін}}$ ). Позначимо  $\omega = W_{\text{мін}} / W_{\text{макс}} = 0,051$ .

Тоді число одиниць переносу:

$$N = \frac{K_2 \cdot F_2}{W_M \cdot c_M}, \quad (3.19)$$

$$N = \frac{78,57 \cdot 1,5}{386} = 0,3.$$

Ефективність теплообмінника (при числі ходів більше трьох в протиточно-перехресному апараті можна використовувати залежність  $\varepsilon = f(N; \omega)$  для чистого протитоку):

$$\varepsilon = \frac{1 - e^{-N(1-\omega)}}{1 - \omega \cdot e^{-N(1-\omega)}}, \quad (3.20)$$

$$\varepsilon = \frac{1 - e^{-0,3(1-0,051)}}{1 - 0,3 \cdot e^{-0,3(1-0,051)}} = 0,03.$$

Температура гарячого і холодного теплоносіїв на виході з апарату:

$$t_1'' = t_1' - \varepsilon \cdot (t_1' - t_2') \text{ (}^\circ\text{C)}, \quad (3.21)$$

$$t_1'' = 45 - 0,03 \cdot (45 - 25) = 44,4 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Отримані значення температур теплоносіїв на виході з теплообмінника не суттєво відрізняються від раніше прийнятих (див. п. 2), тому їх можна вважати остаточними.

Теплова потужність апарата без урахування втрат теплоти в навколишнє середовище:

$$Q = c \cdot G_2 \cdot (t_2'' - t_2') \text{ (кВт)}, \quad (3.22)$$

$$Q = 4,2 \cdot 1,8 \cdot (26 - 25) = 7,56 \text{ (кВт)}.$$

Теплова потужність апарата з урахуванням втрат транспорту теплоти складає 7 кВт.

Розрахунок гідравлічних опорів.

Середня температура стінки складає  $0,5 \cdot (25 + 26)$  градусів.

Даній температурі відповідає коефіцієнт динамічної в'язкості:

$$\mu_{cm} = 61,2 \cdot 10^{-3} \text{ (кг/(м} \cdot \text{с))}.$$

Коефіцієнт опору по міжтрубному просторі знаходимо по рівнянню:

$$\xi_1 = 157,8 \cdot \text{Re}_1^{-0,99} \cdot (\mu_1 / \mu_{cm})^{-0,14}, \quad (3.23)$$

$$\xi_1 = 157,8 \cdot 24^{-0,99} \cdot (30,3 \cdot 10^{-3} / 61,2 \cdot 10^{-3})^{-0,14} = 3,4.$$

Гідравлічний опір по міжтрубному просторі з  $m$  числом перегородок  $i$ , відповідно, з  $(m + 1)$  числом ходів по міжтрубному просторі:

$$\Delta P = (m + 1) \cdot n_0 \cdot \xi_1 \cdot \rho_1 \cdot w_1^2 / 2 \text{ (Па)}, \quad (3.24)$$

$$\Delta P = (5 + 1) \cdot 3,4 \cdot 865 \cdot 0,1^2 / 2 = 88,23 \text{ (Па)}.$$

Втрати напору на місцеві опори, Па:

$$\Delta P_M = \sum \xi \cdot \frac{\rho \cdot w_1^2}{2} \quad (3.25)$$

$$\Delta P_M = 3,4 \cdot \frac{947 \cdot 1,5^2}{2} = 3622,27$$

Втрати напору води на тертя по довжині теплообмінника, Па

$$\Delta P_T = \lambda_T \cdot \frac{l \cdot z}{d_e} \cdot \frac{\rho_1 \cdot w_1}{2} \quad (3.26)$$

$$\Delta P_T = 0,058 \frac{2,3 \cdot 2}{0,023} \cdot \frac{947 \cdot 0,67}{2} = 3423,24$$

Сумарні витрати нагріву гріючої води в між трубному просторі, Па :

$$\Delta P = \Delta P_T + \Delta P_M = 3622,27 + 3423,24 = 7045,51$$

Розрахунок потужності насоса:



$$N_1 = \frac{V_1 \cdot \Delta P_1}{\eta_{\text{мех}} \cdot \eta_{\text{н}}} \quad (3.27)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії насоса, який приймаємо рівним 0,8 і

$\eta_{\text{н}}$  – внутрішній відносний ККД насоса.

$$N_1 = \frac{0,02 \cdot 7045,51}{0,96 \cdot 0,8} = 182,6 \text{ (Вт)}$$

Вартість електроенергії приводу масло насоса, грн/рік::

$$Z_{\text{емн}} = N \cdot c_{\text{еє}} \cdot \tau = 182,6 \cdot 3 \cdot 6500 = 3560,7 \text{ (грн/рік)} \quad (3.28)$$

де  $\tau$  -річне чиисло годин роботи системи гарячого водо постачання

$c_{\text{еє}}$ -вартість 1 квт· години.

Коефіцієнт опору по водяному тракту при турбулентному режимі протікання всередині гідравлічно гладкої труби:

$$\xi_2 = 0,316 \cdot \text{Re}_2^{-0,25}, \quad (3.28)$$

$$\xi_2 = 0,316 \cdot 7310^{-0,25} = 0,034.$$

Гідравлічний опір по водяному тракту:

$$\Delta P_2 = \xi_2 \cdot \frac{\rho_2 \cdot w_2}{2} \cdot \frac{L}{d_2} \text{ (Па)}, \quad (3.29)$$

$$\Delta P_2 = 0,031 \cdot \frac{995 \cdot 0,5^2}{2} \cdot \frac{0,746}{0,01} = 288 \text{ (Па)}.$$

Розрахунок потужності водяного насоса:

$$N_2 = \frac{V_2 \cdot \Delta P_2}{\eta_{\text{мех}} \cdot \eta_{\text{н}}} \quad (3.30)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії насоса, який приймаємо рівним 0,8.

$$N_2 = \frac{0,0141 \cdot 9666}{0,96 \cdot 0,8} = 177,6 \text{ (Вт)}$$

Вартість електроенергії приводу водяного насоса грн/рік:

$$Z_{\text{евн}} = N \cdot C \cdot \tau = 0,178 \cdot 3 \cdot 6500 = 3471 \text{ (грн/рік)}$$

Капіталовкладення в ТО  $K_{\text{ТО}}$ :

$$K_{\text{ТО}} = F \cdot C_F \text{ (грн)}, \quad (3.31)$$

$$K_{\text{ТО}} = 0,8 \cdot 6250 = 5000 \text{ (грн)}.$$

де  $F$  – площа теплообміну;

$C_f$  – вартість 1 м<sup>2</sup> поверхні теплообмінного апарату, яка складає 6250(грн/м<sup>2</sup>)

Вартість водяного насосу потужністю  $N_B=0.2$  (кВт),  $K_{BH}=800$ (грн).

Вартість масляного насосу потужністю  $N_M=0.3$ (кВт),  $K_{MH}=1500$ (грн).

3.3 Розрахунки ТНУ, електронагрівача та результати досліджень системи гарячого водопостачання

Розрахунки потужності ТНУ виконані за допомогою програми FKWCycle. Результати розрахунку наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 Результати розрахунку потужності ТНУ

Температура конденсату, °С	Теплова потужність ТНУ, $N_{ТНУ}^T$ , кВт	Електрична потужність приводу ТНУ $N_{ТНУ}^E$ , 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

Знайдемо капіталовкладення в ТНУ  $K_{ТНУ}$  та затрати на електроенергію приводу компресора в ТНУ  $Z_{ТНУ}$ :

$$K_{\text{ТНУ}} = c^T \cdot N_{\text{ТНУ}}^T \quad (3.32)$$

$$Z_{\text{ТНУ}} = \tau \cdot c_{\text{еe}} \cdot N_{\text{ТНУ}}^E \quad (3.33)$$

де  $c^T$ ,  $c_{\text{еe}}$  - питома тепла вартість ТНУ та вартість 1 кВт·год електроенергії,  $N_{\text{ТНУ}}^T$ ,  $N_{\text{ТНУ}}^E$  - тепла та електрична потужності ТНУ,  $\tau$  - річне число годин роботи ТНУ.

$$c^T = 6000 \text{ грн/кВт},$$

$$c_{\text{еe}} = 3 \text{ грн/кВт·год},$$

$$\tau = 6500 \text{ (год)}$$

Знайдемо капіталовкладення в електронагрівач  $K_{\text{ен}}$  та затрати на електроенергію електронагрівача  $Z_{\text{ен}}$ .

$$K_{\text{ен}} = c_{\text{ен}} \cdot N_{\text{ЕН}}; \quad (3.34)$$

$$Z_{\text{ен}} = \tau \cdot c_{\text{еe}} \cdot N_{\text{ЕН}}. \quad (3.35)$$

де  $c_{\text{ен}}$  - питома вартість електронагрівача, грн/кВт

$N_{\text{ЕН}}$  - потужність електронагрівача, кВт,  $N_{\text{ТНУ}}^T$ , кВт - тепла потужність ТНУ.

$$N_{\text{ЕН}} = Q - N_{\text{ТНУ}}^T \text{ (кВт)}; \quad (3.36)$$

$$c_{\text{ен}} = 1000 \text{ (грн/кВт)};$$

$$K_{\text{ен}} = c_{\text{ен}} \cdot N_{\text{ЕН}} \text{ (грн)}; \quad (3.37)$$

$$Z_{\text{ен}} = \tau \cdot c_{\text{еє}} \cdot N_{\text{ЕН}} \text{ (грн/рік)}; \quad (3.38)$$

Визначимо затрати на електроенергію приводу насоса в третьому контурі «випарник ТНУ-електронагрівник»  $E_3$

$$Z_3 = N \cdot C_e \cdot \tau \text{ (грн/рік)}, \quad (3.39)$$

де  $N$  – потужність електродвигуна насоса;

$C_e$  – вартість 1 кВт·год електроенергії, яка становить 3 грн/(кВт·год);

$\tau$  – кількість годин роботи насоса за рік, яка складає 8000 год.

Потужність насосу для подолання гідравлічного опору:

$$N = \frac{V_{\text{води}} \cdot \Delta P_{\text{сум}}}{\eta_{\text{насоса}}} \text{ (кВт)}, \quad (3.40)$$

тут  $V_{\text{води}}$  - об'ємна витрата води, м куб/с

$$V_{\text{води}} = G_{\text{води}} \cdot 0,001$$

$G_{\text{води}}$  - масова витрата води, кг/с.

$$G_{\text{води}} = Q / 4,2 (t_{\text{гВП}} - t_{\text{входу в конденсатор}}) \quad (3.41)$$

$$G_{\text{води}} = 40 / 4.2 \cdot (60 - 25) = 0.27 \text{ (кг/с)}$$

$\Delta P_{\text{сум}}$  - оцінимо в 600 кПа

тоді  $N = 0.215$  кВт

$$Z_3 = 0.215 \cdot 3 \cdot 6500 = 4193 \text{ (грн/рік)}$$

Ціна насоса  $K_3$  складає приблизно 3500 грн.

Знайдемо сумарні капіталовкладення в систему гарячого водопостачання при температурі конденсату  $T^{\circ}\text{C}$   $K_{\text{ГВП}}^{\text{T}}$ :

$$K_{\text{ГВП}}^{\text{T}} = K_{\text{МН}} + K_{\text{ВН}} + K_{\text{ТО}} + K_{\text{ТНУ}} + K_3 + K_{\text{ЕН}} \quad (3.42)$$

Приведені затрати на устаткування системи гарячого водопостачання  $Z_{\text{устатк}}$  складуть:

$$Z_{\text{устатк}}^{\text{T}} = K_{\text{ГВП}}^{\text{T}} \cdot a \quad (3.43)$$

де  $a$  –  $1/$  рік - норма дисконту

При  $a = 0,1$

$$Z_{\text{устатк}}^T = K_{\text{гвп}}^T \cdot a \text{ (грн/рік)}; \quad (3.44)$$

Приведені затрати на електроенергію приводів насосів та компресора  $Z_{\text{еє}}$  визначаємо так:

$$Z_{\text{еє}}^T = Z_{\text{еємн}} + Z_{\text{еєвн}} + Z_{\text{тну}}^T + Z_3 + Z_{\text{ен}}^T \text{ (грн/рік)}; \quad (3.45)$$

$$Z_{\text{сум}}^T = Z_{\text{устатк}}^T + Z_{\text{еє}}^T \text{ (грн/рік)}; \quad (3.46)$$

По наведеній методиці знайдемо сумарні затрати  $Z_{\text{сум}}^{40}$  при температурі конденсату  $T = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Знайдемо капіталовкладення в ТНУ  $K_{\text{тну}}$  та затрати на електроенергію привода компресора в ТНУ  $Z_{\text{тну}}$ .

$$K_{\text{тну}} = c^T \cdot N_{\text{тну}}^T$$

$$Z_{\text{тну}} = \tau \cdot c_{\text{еє}} \cdot N_{\text{тну}}^E$$

де  $c^T$ ,  $c_{\text{еє}}$  - питома тепла вартість ТНУ та вартість 1 квт·год електроенергії,  $N_{\text{тну}}^T$ ,  $N_{\text{тну}}^E$  - тепла та електрична потужності ТНУ,  $\tau$  - річне чиисло годин роботи ТНУ

$$c^T = 6000 \text{ грн/квт}, c_{\text{еє}} = 3 \text{ грн/квт·год}, \tau = 6500 \text{ (год)}$$

Для температури конденсату  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  з таблиці 3.2

$$K_{\text{тну}} = 6000 \cdot 11,33 = 68000 \text{ (грн)};$$

$$Z_{\text{тн}} = 6500 \cdot 1,96 \cdot 3 = 38220 \text{ (грн)}.$$

Знайдемо капіталовкладення в електронагрівач  $K_{\text{ен}}$  та затрати на електроенергію електронагрівача  $Z_{\text{ен}}$ :

$$K_{\text{ен}} = c_{\text{ен}} \cdot N_{\text{ен}};$$

$$Z_{\text{ен}} = \tau \cdot c_{\text{еє}} \cdot N_{\text{ен}}.$$

де  $c_{\text{ен}}$ -питома вартість електронагрівача, грн/кВт

$N_{\text{ен}}$ -потужність електронагрівача, кВт

$$N_{\text{ен}} = Q - N_{\text{тн}}^T \text{ (кВт)}; \quad (3.47)$$

$$N_{\text{ен}} = 20 - 11,33 = 8,67 \text{ (кВт)};$$

$$c_{\text{ен}} = 1000 \text{ (грн/кВт)};$$

$$K_{\text{ен}} = c_{\text{ен}} \cdot N_{\text{ен}} \text{ (грн)};$$

$$K_{\text{ен}} = 1000 \cdot 8,67 = 8670 \text{ (грн)};$$

$$Z_{\text{ен}} = \tau \cdot c_{\text{еє}} \cdot N_{\text{ен}} \text{ (грн/рік)};$$

$$Z_{\text{ен}} = 6500 \cdot 3 \cdot 8,67 = 169065 \text{ (грн/рік)}.$$

Знайдемо сумарні капіталовкладення в систему гарячого водопостачання при температурі конденсату  $40^\circ\text{C}$   $K_{\text{гвп}}^{40}$ :

$$K_{\text{гвп}}^{40} = K_{\text{МН}} + K_{\text{ВН}} + K_{\text{ТО}} + K_{\text{ТН}} + K_3 + K_{\text{ен}} \quad (3.48)$$



$$K_{\text{гвп}}^{40} = 4150 + 5000 + 68000 + 3500 + 8670 = 89320 \text{ (грн)}$$

Приведені затрати на устаткування системи гарячого водопостачання  $Z_{\text{устатк}}$  складуть:

$$Z_{\text{устатк}} = K_{\text{гвп}} \cdot a \quad (3.49)$$

де  $a$ , 1/рік – норма дисконту

При  $a = 0,1$

$$Z_{\text{устатк}}^{40} = K_{\text{гвп}}^{40} \cdot a \text{ (грн/рік);} \quad (3.50)$$

$$Z_{\text{устатк}}^{40} = 0,1 \cdot 89320 = 8932 \text{ (грн/рік).}$$

Приведені затрати на електроенергію приводів насосів  $Z_{\text{еє}}$

$$Z_{\text{еє}}^{40} = Z_{\text{еємн}} + Z_{\text{еєвн}} + Z_{\text{гпу}} + Z_3 + Z_{\text{ен}} \text{ (грн/рік);} \quad (3.51)$$

$$Z_{\text{еє}}^{40} = 14700 + 7350 + 38220 + 4193 + 169065 = 233528 \text{ (грн/рік);}$$

Приведені затрати на електроенергію приводів такомпресора

$$Z_{\text{сум}}^{40} = Z_{\text{устатк}}^{40} + Z_{\text{еє}} \text{ (грн/рік);} \quad (3.52)$$

$$Z_{\text{сум}}^{40} = 8932 + 233528 = 242460 \text{ (грн/рік)}.$$

По наведеній методиці знайдемо сумарні затрати  $Z_{\text{сум}}^{50}$  при температурі конденсату 50 °С.

Знайдемо капіталовкладення в ТНУ  $K_{\text{ТНУ}}$  та затрати на електроенергію привода компресора в ТНУ  $Z_{\text{ТНУ}}$ .

$$K_{\text{ТНУ}} = c^T \cdot N_{\text{ТНУ}}^T \quad (3.53)$$

$$Z_{\text{ТНУ}} = \tau \cdot c_{\text{еє}} \cdot N_{\text{ТНУ}}^E \quad (3.54)$$

де  $c^T$ ,  $c_{\text{еє}}$  - питома теплова вартість ТНУ та вартість 1 кВт·год електроенергії,  $N_{\text{ТНУ}}^T$ ,  $N_{\text{ТНУ}}^E$  - теплова та електрична потужності ТНУ,  $\tau$  - річне число годин роботи ТНУ

$$c^T = 6000 \text{ грн/кВт}, c_{\text{еє}} = 3 \text{ грн/кВт·год}, \tau = 6500 \text{ (год)}$$

Для температури конденсату 50 °С з таблиці 3.2.1.

$$K_{\text{ТНУ}} = 6000 \cdot 12,04 = 72240 \text{ (грн)};$$

$$Z_{\text{ТНУ}} = 6500 \cdot 2,61 \cdot 3 = 50895 \text{ (грн)}.$$

Знайдемо капіталовкладення в електронагрівач  $K_{\text{ен}}$  та затрати на електроенергію електронагрівача  $Z_{\text{ен}}$ .

$$K_{\text{ен}} = c_{\text{ен}} \cdot N_{\text{ен}}; \quad (3.55)$$

$$Z_{\text{ен}} = \tau \cdot c_{\text{еє}} \cdot N_{\text{ен}}. \quad (3.56)$$

де  $c_{\text{ен}}$ -питома вартість електронагрівача, грн/кВт

$N_{\text{ен}}$ -потужність електронагрівача, кВт

$$N_{\text{ен}} = Q - N_{\text{тгу}}^{\text{T}} \text{ (кВт)}; \quad (3.57)$$

$$N_{\text{ен}} = 20 - 12,04 = 7,96 \text{ (кВт)};$$

$$c_{\text{ен}} = 1000 \text{ (грн/кВт)};$$

$$K_{\text{ен}} = c_{\text{ен}} \cdot N_{\text{ен}} \text{ (грн)}; \quad (3.58)$$

$$K_{\text{ен}} = 1000 \cdot 7,96 = 7960 \text{ (грн)};$$

$$Z_{\text{ен}} = \tau \cdot c_{\text{еє}} \cdot N_{\text{ен}} \text{ (грн/рік)}; \quad (3.59)$$

$$Z_{\text{ен}} = 6500 \cdot 3 \cdot 7,96 = 155220 \text{ (грн/рік)}.$$

Знайдемо сумарні капіталовкладення в систему гарячого водопостачання при температурі конденсату  $50^\circ\text{C}$   $K_{\text{гВП}}^{50}$ :

$$K_{\text{гВП}}^{50} = K_{\text{МН}} + K_{\text{ВН}} + K_{\text{ТО}} + K_{\text{ТГУ}} + K_3 + K_{\text{ен}}, \quad (3.60)$$

$$K_{\text{гВП}}^{50} = 4150 + 5000 + 72240 + 3500 + 7960 = 92850 \text{ (грн)}.$$

Приведені затрати на устаткування системи гарячого водопостачання  $Z_{\text{устатк}}$  складуть:

$$Z_{\text{устатк}} = K_{\text{гвп}} \cdot a. \quad (3.61)$$

де  $a$ , 1/рік - норма дисконту

При  $a = 0,1$

$$Z_{\text{устатк}}^{50} = K_{\text{гвп}}^{50} \cdot a \text{ (грн/рік);} \quad (3.62)$$

$$Z_{\text{устатк}}^{50} = 0,1 \cdot 92850 = 9285 \text{ (грн/рік).}$$

Приведені затрати на електроенергію приводів насосів та компресора  $Z_{\text{еє}}$  визначаємо так:

$$Z_{\text{еє}}^{50} = Z_{\text{еємн}} + Z_{\text{еєвн}} + Z_{\text{тну}} + Z_3 + Z_{\text{ен}} \text{ (грн/рік);} \quad (3.63)$$

$$Z_{\text{еє}}^{50} = 3560,7 + 7350 + 50895 + 4193 + 155220 = 221219 \text{ (грн/рік);}$$

$$Z_{\text{сум}}^{50} = Z_{\text{устатк}}^{50} + Z_{\text{еє}} \text{ (грн/рік);} \quad (3.64)$$

$$Z_{\text{сум}}^{50} = 9285 + 221219 = 230504 \text{ (грн/рік).}$$

По наведеній методиці знайдемо сумарні затрати  $Z_{\text{сум}}^{60}$  при температурі конденсату 60 °С.

Знайдемо капіталовкладення в ТНУ  $K_{\text{тну}}$  та затрати на електроенергію привода компресора в ТНУ  $Z_{\text{тну}}$ .

$$K_{\text{тну}} = c^T \cdot N_{\text{тну}}^T. \quad (3.65)$$

$$Z_{\text{тну}} = \tau \cdot c_{\text{еє}} \cdot N_{\text{тну}}^E. \quad (3.66)$$

де  $c^T$ ,  $c_{ee}$  - питома теплова вартість ТНУ та вартість 1 квт·год електроенергії,  
 $N_{ТНУ}^T$ ,  $N_{ТНУ}^E$  - теплова та електрична потужності ТНУ,  $\tau$  -річне чиисло годин роботи  
ТНУ

$$c^T=6000\text{грн/квт}, c_{ee}=3 \text{ грн/квт}\cdot\text{год}, \tau=6500 \text{ (год)}$$

Для температури конденсату  $60^\circ\text{C}$  з таблиці 3.2.1.

$$K_{ТНУ}=6000\cdot 12,91=77460 \text{ (грн )};$$

$$Z_{ТНУ}\cdot=6500\cdot 3,41\cdot 3=66495 \text{ (грн)}.$$

Електронагрівач в даному випадку розрахунку відсутній при даній потужності  
 $N_{ТНУ}^T=36.6$  підігрів не потрібен.

Знайдемо сумарні капіталовкладення в систему гарячого водопостачання при  
температурі конденсату  $60^\circ\text{C}$   $K_{ГВП}^{60}$ :

$$K_{ГВП}^{60}=K_{МН} + K_{ВН}+K_{ТО} +K_{ТНУ} + K_3 \quad (3.67)$$

$$K_{ГВП}^{60} = 4150+5000+77460+7090=93700 \text{ (грн)}$$

Приведені затрати на устаткування системи гарячого водопостачання  $Z_{устатк}$   
складуть:

$$Z_{устатк}= K_{ГВП}\cdot a \quad (3.68)$$

де  $a$ , 1/рік - норма дисконту

При  $a = 0,1$

$$Z_{\text{устатк}}^{60} = K_{\text{ГВП}}^{60} \cdot a \text{ (грн/рік);} \quad (3.69)$$

$$Z_{\text{устатк}}^{60} = 0,1 \cdot 237150 = 9370 \text{ (грн/рік).}$$

Приведені затрати на електроенергію приводів насосів та компресора  $Z_{\text{еє}}$  визначаємо так:

$$Z_{\text{еє}}^{60} = Z_{\text{еєМН}} + Z_{\text{еєВН}} + Z_{\text{ТНУ}} + Z_3 + Z_{\text{ен}} \text{ (грн/рік);} \quad (3.70)$$

$$Z_{\text{еє}}^{60} = 14700 + 7350 + 66495 + 4193 = 92738 \text{ (грн/рік);}$$

$$Z_{\text{сум}}^{60} = Z_{\text{устатк}}^{60} + Z_{\text{еє}} \text{ (грн/рік);} \quad (3.71)$$

$$Z_{\text{сум}}^{60} = 9370 + 92738 = 102108 \text{ (грн/рік).}$$

Визначимо приведені затрати на систему гарячого водопостачання без ТНУ  $Z_{\text{ел.нагр}}$ . В такій системі вода після масло-водяного теплообмінника гріється в електронагрівачу, тобто система двохконтурна.

Знайдемо капіталовкладення в електронагрівач  $K_{\text{ен}}$  та затрати на електроенергію електронагрівача  $Z_{\text{ен}}$ .

$$K_{\text{ен}} = c_{\text{ен}} \cdot N_{\text{ЕН}}; \quad (3.72)$$

$$Z_{\text{ен}} = \tau \cdot c_{\text{еє}} \cdot N_{\text{ЕН}}. \quad (3.73)$$

де  $N_{EH}$ -потужність електронагрівача, кВт

$$N_{EH} = Q \text{ (кВт)};$$

$$N_{EH} = 20 \text{ (кВт)};$$

$c_{EH}$ -питома вартість електронагрівача, грн/кВт  $c_{EH} = 1000$  (грн/кВт);

$$K_{EH} = c_{EH} \cdot N_{EH} \text{ (грн)};$$

$$K_{EH} = 1000 \cdot 20 = 20000 \text{ (грн)};$$

$$Z_{EH} = 0.1 \cdot 20000 = 2000 \text{ (грн/рік)};$$

$$Z_{EE} = TAU \cdot c_{EE} \cdot N_{EH} \text{ (грн/рік)};$$

$$Z_{EE} = 6500 \cdot 3 \cdot 20 = 390000 \text{ (грн/рік)}.$$

$$Z_{\text{ел.нагр}} = Z_{EH} + Z_{EE} = 2000 + 390000 = 392000 \text{ (грн/рік)}.$$

Результати розрахунків наведені в таблиці 3.3

Таблиця 3.3 - Результати розрахунків сумарних приведених затрат, грн/рік, та їх складових на систему гарячого водопостачання при температурах води на виході з ТНУ 40, 50 та 60 градусів. Питомі вартості електроенергії та ТНУ 3 грн / кВт•год та 6000 грн /квт відповідно

№	Складова системи гарячого водопостачання	Без ТНУ	40	50	60

1	1 контур.Масловодяний теплообмінник	1000	1000	1000	1000
2	Маслонасос	300	300	300	300
3	Енергію 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

Таблиця 3.3 – Продовження

7	Енергію приводу компресора	0	38220	50895	66495
8	Водяний насос	0	500	500	500
9	Енергію приводу водяного насоса	0	4193	4193	4193
10	Електродогрівач	2000	8670	7960	0
11	Електроенергію догрівача	390000	16906	15522	0
12	Сумарні затрати	415550	160093	182210	172198

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

За приведеною методикою розрахунку затрат на систему гарячого водопостачання з регенерацією скидної теплоти трансформатора складена програма розрахунку на ЕОМ. За допомогою програми виконані розрахунки сумарних затрат на систему гарячого водопостачання при питомих вартостях електроенергії , грн/квт·год, 0.5; 1; 2;3; 4; 5; 6. Результати розрахунків наведені в таблиці 3.3.2 та на графіках



Таблиця 3.4 - Результати розрахунків приведених сумарних затрат, грн/рік, на систему гарячого водопостачання при різних питомих вартостях електроенергії, грн / квт·год.

Питома вартість електроенергії, грн /квт•год	Без ТНУ	Температура води на виході з ТНУ, °С		
		40	50	60
0,5	83110	68808	72845	69879

Таблиця 3.4 – Продовження

1	126508	77389	85064	79903
2	282574	233947	247673	237588
3	415550	160093	182210	172198
4	540215	208121	236873	223857
5	664880	256148	291536	275517
6	789545	304176,7	346199	327176

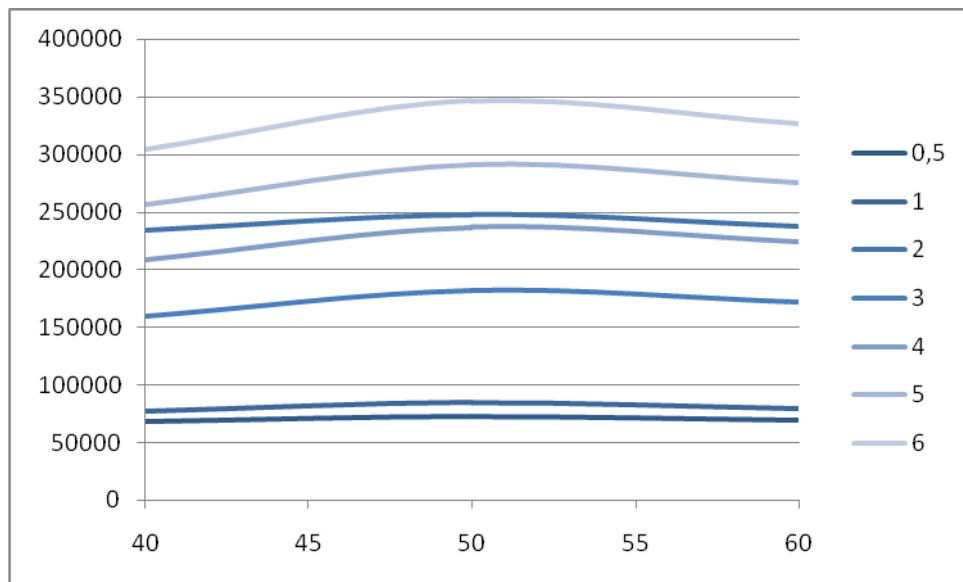


Рисунок 3.3 - Залежності сумарних приведених затрат на систему гарячого водопостачання від температури води на виході з ТНУ, °С ,при різних питомих вартостях електроенергії.

За допомогою програми виконані розрахунки сумарних приведених затрат на систему гарячого водопостачання при питомих вартостях ТНУ, грн/квт, 500; 1000; 2000; 3000; 4000;5000;6000;8000;10000. Результати розрахунків наведені в таблиці 3.3 та на графіках рисунку 3.3

Таблиця 3.5 - Результати розрахунків приведених сумарних затрат на систему гарячого водопостачання при різних питомих вартостях ТНУ

Питома вартість ТНУ, грн/квт	Приведені сумарні затрати, грн/рік ,при температурах води на виході з ТНУ		
	40	50	60
500	155124	177208	166705
1000	155940	177875	167235
2000	156600	178209	168195

3000	157212	179543	169255
4000	158110	180199	170515
5000	159043	181211	171175
6000	160093	182210	172198
7000	161640	183879	173495
8000	162918	185213	174655
9000	164421	187547	176815
10000	166801	189881	178875

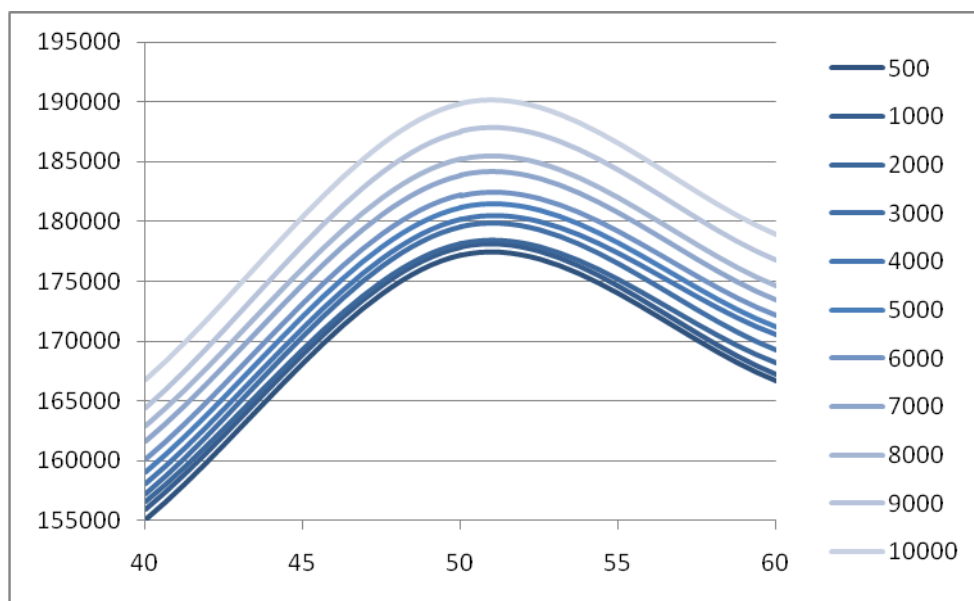


Рисунок 3.4 - Залежності сумарних приведених затрат, грн/рік, на систему гарячого водопостачання від температури води на виході з ТНУ, оС ,при різних питомих вартостях ТНУ

Висновки до даного розділу

Виконані дослідження системи гарячого водопостачання з регенерацією скидного тепла трансформатора.

Розглянуті варіанти без ТНУ, з нагріванням води в електронагрівнику, та з нагріванням води в ТНУ та догрівом її в електронагрівнику.

Виконані за допомогою програми дослідження показали наступне:

1. Сумарні приведені затрати на варіант з ТНУ менші сумарних приведених затрат на варіант без ТНУ.

2. Характер зміни сумарних приведених затрат при зміні температури нагрітої в ТНУ води однаковий

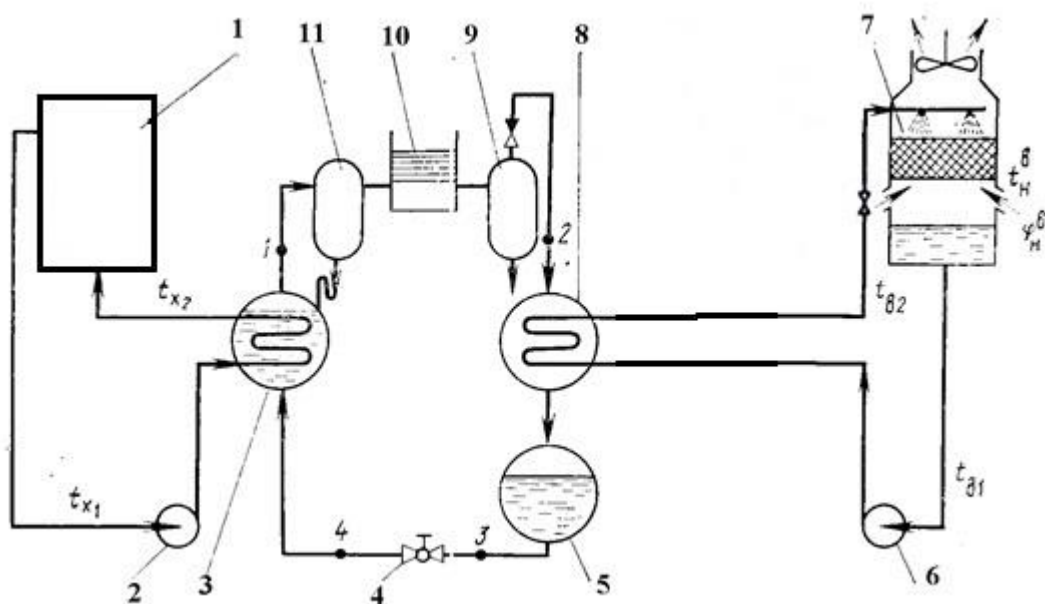
3. Характер зміни сумарних приведених затрат при зміні температури нагрітої в ТНУ води однаковий.

4. Найменші сумарні приведені затрати відповідають найменшому нагріву води в ТНУ та, відповідно, найбільшому догріву в електронагрівачу. Зі збільшенням нагріву в ТНУ її ефективність (COP) суттєво знижується і затрати на електроенергію приводу компресора зростають.

#### 4 ВИКОРИСТАННЯ СКИДНОГО ТЕПЛА ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ В СИСТЕМІ ТЕПЛОФІКАЦІЇ ПІДПРИЄМСТВА

Існуюча холодильна установка підприємства та її розрахунок

Схема компресійної парової холодильної установкнаведена на рисунку



#### Рисунок 4.1 – Схема компресійної парової холодильної установки

1 – технологічний апарат; 2 – насос для циркуляції холодоносія; 3 – випарник; 4 – дросельний пристрій; 5 – ресивер; 6 – насос для циркуляції води; 6 – насос для циркуляції води; 7 – вентиляторна градирня; 8 – конденсатор; 9 – маслоохолодник; 10 – компресор; 11 – відділювач рідини;

В схемі теплота конденсації холодоагента відводиться охолодною що циркулює в оборотній системі. Підігріта в конденсаторі 8 вода подається на зрошення насадки вентиляторної градирні 7. Охолоджена вода відводиться насосом 6 і подається до труб конденсатора.

Наявна інформація про холодильну установку підприємства наступна.

Потужність холодопродуктивності з урахуванням втрат:  $Q_0 = 750$  кВт.

Температура виходу холодоносія з випарника:  $t_{x2} = -24$ °C

Робоче тіло (холодоагент) - аміак (R717).

Тип системи холодопостачання - централізована з проміжним холодоносієм.

Система водопостачання - оборотна.

Дійсна теплова потужність випарника 779.8 кВт

Дійсна теплова потужність конденсатора: 1139,9 кВт

#### 4.1 Розрахунок циклу парокомпресійної установки

Розрахункова температура  $t_n^B$  зовнішнього повітря для міста Вінниця визначається по середньомісячній температурі самого жаркого місяця  $t_{cp.}^B = 24,7$  °C з урахуванням впливу максимальних температур  $t_{max} = 38$  °C в дданній місцевості:

$$t_n^B = t_{cp.}^B + 0,25 \cdot t_{max} = 24,7 + 0,25 \cdot 38 = 34,2 \text{ (}^\circ\text{C)}. \quad (4.1)$$

Розрахункова відносна вологість зовнішнього повітря  $\phi_n^e$  визначається по  $H-d$  діаграмі за розрахунковою температурі  $t_n^e$  і вологовмісту повітря  $d_{cp.}=10,3$  г/кг, визначеному по середньомісячним значенням параметрів повітря для самого жаркого місяця -  $t_{cp.}^B$  и  $\phi_{cp.}^e = 53\%$   $\phi_n^e = 32\%$

Температура води, що надходить на конденсатор  $t_{e1}$ , визначається в залежності від температури зовнішнього повітря: для систем оборотного водопостачання

$$t_{B1} = t_M^B + (3 \div 4) = 21 + 3 = 24 \text{ (}^\circ\text{C)}. \quad (4.2)$$

де  $t_M^B = 21$  °С - температура зовнішнього повітря по мокрому термометру (визначається по  $H-d$  діаграмі за розрахунковою температурі і розрахункової відносною вологістю зовнішнього повітря  $\phi_n^e = 32\%$ )

Температура води на виході з конденсатора:

$$t_{B2} = t_{B1} + \Delta t_B^{кл} = 24 + 4 = 28 \text{ (}^\circ\text{C)}. \quad (4.3)$$

де  $\Delta t_B^{кл}$  - підігрів води в конденсаторі (°С), для горизонтального кожухотрубчатого приймаємо  $\Delta t_B^{кл} = 4$  °С.

Температура конденсації пари холодоагенту:

$$t_k = t_{B2} + (4 \div 5) = 28 + 4 = 32 \text{ (}^\circ\text{C)}. \quad (4.4)$$

Температура кипіння холодоагенту:

$$t_o = t_{x2} - \Delta t_{\min}^n = -24 - 3 = -27 \text{ (}^\circ\text{C)}. \quad (4.5)$$

де  $\Delta t_{\min}^n = 3 \div 5 \text{ }^\circ\text{C}$  - мінімальна різниця температур в аміачних випарниках приймаємо  $\Delta t_{\min}^n = 3 \text{ }^\circ\text{C}$ .

$t_{x2}$  - температура виходу холодоносійя з випарника (вихідні дані).

Температура переохолодження рідкого холодоагенту  $t_n$  перед регулюючим вентилем повинна бути на  $3 - 5^\circ\text{C}$  вище температури води, що надходить на конденсатор:

$$t_3 = t_n = t_{в1} + (3 \div 5) = 24 + 3 = 27 \text{ (}^\circ\text{C)}. \quad (4.6)$$

Щоб не допустити влучення рідкого холодоагенту в циліндри компресора повинен бути забезпечений перегрів пари на всмоктуванні в компресор на  $5-15^\circ\text{C}$ . Цей перегрів забезпечується в випарнику і у всмоктуючих трубопроводах за рахунок зовнішніх теплопритоків:

$$t_1 = t_{вс} = t_o + (5 \div 15) = -27 + 7 = -20 \text{ (}^\circ\text{C)}. \quad (4.7)$$

Будуємо цикл одноступінчатої парокомпрессионної машини в  $h$ -lgr і  $s$ -T діаграмах.



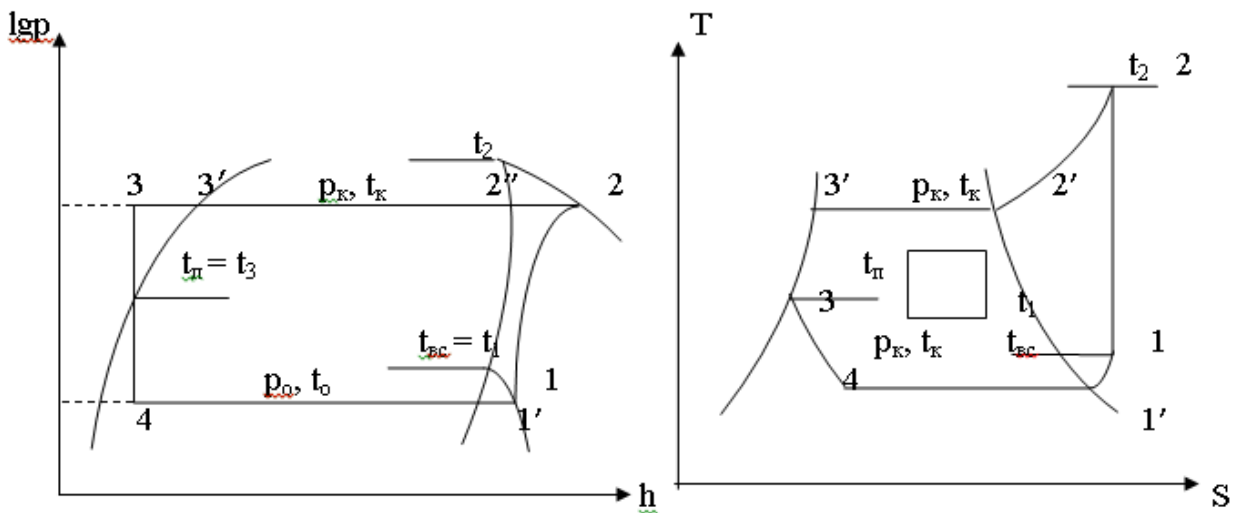


Рисунок 4.2 – цикл одноступінчатої парокompresійної машини в  $h$ - $lgp$  і  $s$ - $T$  діаграмах.

Параметри точок зводимо в таблицю 4.1

Таблиця 4.1 – параметри точок цикл одноступінчатої парокompresійної машини з діаграм

№ точки	$t, ^\circ C$	$P, MPa$	$\nu, m^3 / kg$	$h, kJ / kg$	$S, kJ / kg \cdot K$	Стан
1'	-27	0,144	0,84	1646	9,205	Сухий насичений пар
1	-20	0,144	0,82	1664	9,23	Перегрітий пар
2	140	1,24	0,155	1992	9,23	Перегрітий пар
2'	32	1,24	0,104	1898	8,43	Сухий насичений пар
3'	32	1,24	$1,69 \cdot 10^{-3}$	569	4,71	Насичена рідина
3	27	1,24	$1,67 \cdot 10^{-3}$	550	4,63	Переохолоджена рідина
4	-27	0,144	0,15	550	4,71	Рідина + Пар

#### 4.2 Розрахунок і підбір основного обладнання холодильної машини.

Для розрахунку і підбору основного обладнання холодильної машини по холодопродуктивності установки і параметричних точок циклу визначаємо тип і кількість компресорів та теплову потужність апаратів (випарник і конденсатор).

На підставі теплового розрахунку апаратів вибираємо тип і кількість випарників і конденсаторів.

#### 4.2.1 Компресор

Питома масова холодопродуктивність:

$$q_o = h_1 - h_4 = 1664 - 550 = 1114 \text{ (кДж/кг)}. (4.8)$$

Питома робота стиснення в компресорі:

$$l_s = h_2 - h_1 = 1992 - 1664 = 328 \text{ (кДж/кг)}. (4.9)$$

Масова витрата холодоагенту для забезпечення заданої холодопродуктивності:

$$m_{\tau} = \frac{Q_o}{q_o} = \frac{750}{1114} = 0,67 \text{ (кг/с)}. (4.10)$$

де  $Q_o = 750$  кВт - холодопродуктивність установки.

Дійсний об'ємний витрата парів, що надходять в компресор в одиницю часу:

$$V_d = m_t \cdot v_1 = 0,67 \cdot 0,82 = 0,55 \text{ (м}^3/\text{с)}. \quad (4.11)$$

де  $v_1 = 0,82 \text{ м}^3/\text{кг}$  - питомий об'єм всмоктуваного пара (точка 1)

Обсяг, описуваний поршнями в одиницю часу:

$$V_h = \frac{V_d}{\lambda} = \frac{0,55}{0,6} = 0,92 \text{ м}^3/\text{с} = 3312 \text{ (м}^3/\text{ч)}. \quad (4.12)$$

де  $\lambda$  - коефіцієнт подачі компресора визначається за графіком

$$\lambda = f\left(\frac{P_K}{P_O}\right) = f\left(\frac{1,24}{0,144}\right) = f(8,6), \quad \lambda = 0,6$$

За обсягом, описуваного поршнями, підбираємо компресор типу П220

з об'ємом описуваних поршнями:

$V_h^K = 602 \text{ м}^3/\text{час} = 0,167 \text{ (м}^3/\text{с)}$  підбираємо компресор типу П220 з об'ємом описування поршнями

Кількість компресорів:

$$n = \frac{V_h}{V_h^K} = \frac{0,92}{0,167} = 5,5 \approx 6 \text{ (шт.)} \quad (4.13)$$

де  $V_h^K = 0,167 \text{ м}^3/\text{с}$  - теоретична об'ємна подача одного компресора, що є паспортної характеристикою.

Для підприємства з безперервним режимом передбачаємо установку одного резервного компресора такого ж типу.

Дійсна об'ємна подача компресорів:

$$V_d^K = \lambda \cdot V_h^K \cdot n = 0,6 \cdot 0,167 \cdot 6 = 0,6 \text{ (м}^3/\text{с)}. \quad (4.14)$$

Дійсний масовий витрата холодоагенту, що циркулює в установці при 6 встановлених компресорах:

$$m_\tau^d = \frac{V_d^K}{v_1} = \frac{0,6}{0,82} = 0,7 \text{ (кг/с)}. \quad (4.15)$$

Теоретична (адіабатне) потужність стиснення парів холодоагенту в компресорах:

$$N_T = m_\tau^d \cdot l_s = 0,7 \cdot 328 = 229,6 \text{ (кВт)}. \quad (4.16)$$

Індикаторна потужність, споживана компресорами:

$$N_i = \frac{N_T}{\eta_i} = \frac{229,6}{0,75} = 306,1 \text{ (кВт)}. \quad (4.17)$$

де  $\eta_i$  - індикаторний ККД, визначається за графіком  $\eta_i = f\left(\frac{P_K}{P_O}\right)$ ;

$$\eta_i = 0,75$$

Ефективна потужність (на валу компресора):

$$N_e = \frac{N_i}{\eta_m} = \frac{306,1}{0,85} = 360,1 \text{ кВт} \quad (4.18)$$

$\eta_m$  - механічний ККД, що враховує втрати на тертя.

Для бескрейцкопфние компресорів  $\eta_m = 0,82 \div 0,92$  Приймаємо  $\eta_m = 0,85$

Електрична потужність, споживана з мережі:

$$N_{\text{э}} = \frac{N_e}{\eta_{\text{п}} \times \eta_{\text{дв}}} = \frac{360,1}{0,9} = 400,1 \text{ (кВт)}. \quad (4.19)$$

де  $\eta_n = 1$  - ККД передачі.

$\eta_{\text{дв}} = 0,9$  - ККД електродвигуна.

Процес стиснення відхиляється від ізоентропного, положення точки 2 можна визначити, як:

$$i_2 = i_1 + \frac{i_{2s} - i_1}{\eta_i} \quad (4.20)$$

Ентальпія точки 2 визначається, як:

$$i_2 = 1664 + \frac{1707 - 1664}{0,85} = 1714,6 \text{ (кДж/кг)}. \quad (4.21)$$

Питома масова холодопродуктивність:

$$q_0 = i_1 - i_3 = 1664 - 550 = 1114 \text{ (кДж/кг)}. \quad (4.22)$$

Дійсна об'ємна продуктивність компресора:

$$v_d = m_a \cdot v_1 = 0.67 \cdot 0.84 = 0.56 \text{ (м}^3\text{/с)}. \quad (4.23)$$

Дійсна об'ємна продуктивність компресора:

$$V_T = v_d / \lambda = 0.56 \cdot 0.6 = 0.93 \text{ (м}^3\text{/с)}. \quad (4.24)$$

Тип компресора..... Сальниковий

Марка.....П220

Об'єм, описуємый поршнями, м<sup>3</sup>/Г..... 3312

Число циліндрів, шт.....6

Частота обертання, с-1.....25

Питома ізоентропная робота компресора:

$$l_s = i_{2s} - i_1 = 1898 - 1646 = 252 \text{ (кДж/кг)}. \quad (4.25)$$

Ізоентропная потужність компресора:

$$N_s = G_a \cdot l_s = 0.67 \cdot 61 = 168.84 \text{ (кВт)}. \quad (4.26)$$

Ефективний холодильний коефіцієнт:

$$\varepsilon_e = \frac{Q_0}{N_e} = \frac{750}{168.84} = 4.44 \quad (4.27)$$

#### 4.2.2 Випарник

Дійсна теплова потужність випарника  $Q_{\text{и}}$

Дійсна холодопродуктивність компресорів  $Q_o^K$

$$Q_o^K = Q_{\text{и}} = q_o \cdot m_{\tau}^{\text{л}} = 1114 \cdot 0,7 = 779,8 \text{ (кВт)}. \quad (4.28)$$

Середня різниця температур у випарнику:

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{t_{x1} - t_{x2}}{\ln \frac{t_{x1} - t_o}{t_{x2} - t_o}} = \frac{-20 - (-24)}{\ln \frac{-20 - (-27)}{-24 - (-27)}} = 4,7 \text{ (}^\circ\text{C)}. \quad (4.29)$$

де  $t_{x1}=t_{x2}+\Delta t_x=-24+4=-20$  °C - температура холодоносія на вході випарник.

Для аміачних горизонтальних кожухотрубних випарників величина зміни температури холодоносія  $\Delta t_x=3\div 5$  °C. Приймаємо  $\Delta t_x=4$  °C.

За температури замерзання розсолу  $\text{CaCl}_2$  визначаємо за довідковими даними концентрацію розчину  $\gamma$ , %, а по концентрації і середній температурі холодоносія фізичні властивості водного розчину  $\text{CaCl}_2$ :

$$t_{\text{зам.}}=t_o-8=-27-8=-35 \text{ (}^\circ\text{C)},$$

$$\gamma=26,6 \text{ \%},$$

$$t_x^{\text{сп}}=t_o+\Delta t_{\text{сп}}=-27+4,7=-22,3 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Щільність:  $\rho=1250$  (кг/м<sup>3</sup>);

Теплоємність:  $C_{p_x}=2,789$  (кДж/(кг·К));

Коефіцієнт об'ємного розширення:  $\beta=0,0006$  (1/°C);

Теплопровідність:  $\lambda=0.488$  (Вт/(м·К));

В'язкість кінематична:  $\nu_x=8,2 \cdot 10^6$  (м<sup>2</sup>/с);

Значення коефіцієнта теплопередачі вибираємо орієнтовно:

$k=250\div 580$  (Вт/(м<sup>2</sup>·К)),. Приймаємо  $k=550$  (Вт/(м<sup>2</sup>·К)).

Щільність теплового потоку:

$$q_F=k \cdot \Delta t_{\text{сп}}=550 \cdot 4,7=2585 \text{ Вт/м}^2=2,585 \text{ (кВт/м}^2\text{)}. \quad (4.30)$$



При русі холодоносія зі швидкістю до 1,5 м/с щільність теплового потоку повинна становити 2330÷2900 Вт/м<sup>2</sup>.

Площа поверхні теплообміну випарника:

$$F = \frac{Q_{\text{и}}}{q_{\text{F}}} = \frac{779,8}{2,585} = 301,6 \text{ (м}^2\text{)}. \quad (4.31)$$

За площею підбираємо випарник 160ІТГ-2шт. з площею поверхні теплообміну  $F_{\text{и}}=152 \text{ м}^2$  кожен.

Сумарна дійсна площа:

$$F_{\text{д}} = F_{\text{и}} \cdot n = 152 \cdot 2 = 304 \text{ м}^2 > F = 301,6 \text{ (м}^2\text{)}. \quad (4.32)$$

Перевіряємо дійсну теплову потужність випарника:

$$Q_{\text{и}}^{\text{д}} = F_{\text{д}} \cdot q_{\text{F}} = 304 \cdot 2,585 = 785,84 \text{ кВт} > 779,8 \text{ (кВт)}, \quad (4.33)$$

де  $Q_{\text{и}} = 779,8 \text{ (кВт)}$ .

Масова витрата циркулюючого холодоносія (розсолу):

$$M_{\text{X}} = \frac{Q_{\text{и}}^{\text{д}}}{C_{\text{X}}(t_{\text{x1}} - t_{\text{x2}})} = \frac{785,84}{2,789 \cdot (-20 - (-24))} = 70,44 \text{ (кг/с)}. \quad (4.34)$$

де  $C_{\text{X}} = 2,789 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{град)}$  - теплоємність холодносія.

### 4.2.3 Конденсатор

Дійсна теплова потужність конденсатора:

$$Q_k = Q_{in} + N_e = 779,8 + 360,1 = 1139,9 \text{ (кВт)}. \quad (4.35)$$

Середній температурний напір визначається:

$$\Delta t_{cp} = \frac{t_{B2} - t_{B1}}{\ln \frac{t_k - t_{B1}}{t_k - t_{B2}}} = \frac{28 - 24}{\ln \frac{32 - 24}{32 - 28}} = 5,8 \text{ (}^\circ\text{C)}. \quad (4.36)$$

У горизонтальних кожухотрубних конденсаторах  $\Delta t_{cp}$  складає 5-8 $^\circ$ C.

Щільність теплового потоку:

$$q_F = k \cdot \Delta t_{cp} = 900 \cdot 5,8 = 5220 \text{ Вт/м}^2 = 5,22 \text{ (кВт/м}^2\text{)}. \quad (4.37)$$

де  $k=900 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$  - приймаємо.

Для горизонтальних кожухотрубних конденсаторів:

$q_F = 4650 \div 5250 \text{ Вт/м}^2$  при швидкості руху води, що охолоджує до 1,5 м/с.

Поверхня теплообміну конденсатора:

$$F = \frac{Q_k}{q_F} = \frac{1139,9}{5,22} = 218,4 \text{ (м}^2\text{)}. \quad (4.38)$$

Підбираємо конденсатор КТГ-110 – 2шт. з поверхнею теплообміну  $F_k = 110 \text{ м}^2$  кожен.

$$F_d = F_k \cdot n = 110 \cdot 2 = 220 \text{ (м}^2\text{)}. \quad (4.39)$$

Перевіряємо дійсну теплову потужність:

$$Q_k^d = F_d \cdot q_F = 220 \cdot 5,22 = 1148,4 \text{ кВт} > 1139,9 \text{ (кВт)}, \quad (4.40)$$

де  $Q_k = 1139,9 \text{ (кВт)}$ .

### 4.3 Розрахунок і підбір допоміжного обладнання

#### 4.3.1 Відділювач рідини

Підбір відділювача рідини здійснюється за діаметром парового патрубку випарника і потім перевіряється по швидкості парів в відділювачі рідини, яка не повинна, перевищувати 0,5 м/с.

$$w_{ож} = \frac{4 \cdot m_{ож} \cdot v_1}{\pi \cdot D_{ож}^2} = \frac{4 \cdot 0,35 \cdot 0,82}{3,14 \cdot 2 \cdot 0,6^2} = 0,5 \text{ (м/с)}, \quad (4.41)$$

де  $m_{\text{ож}} = \frac{m_{\tau}^{\text{д}}}{2} = \frac{0,7}{2} = 0,35$  (кг/с) - дійсна масова подача компресора, всмоктуючого пар з одного відділювачарідини.

$m_{\tau}^{\text{д}} = 0,7$  (кг/с) - дійсний масова витрата холодоагенту, що циркулює в установці.

$v_1 = 0,82$  (м<sup>3</sup>/кг) - питомий об'єм всмоктуваного пара (точка 1).

$D_{\text{ож}}$  - внутрішній діаметр корпусу відділювача рідини.

Для випарника 160ІТГ діаметр патрубку  $d = 125$  (мм).

Встановлюємо відділювачарідини типу 125ОЖ з  $D \cdot S = 600 \cdot 8$  (мм) - 2 шт.

#### 4.3.2. Масловіддільники

Вібираємо по діаметру нагнітального патрубка компресора П-220 (діаметр нагнітального патрубка  $d_{\text{н}} = 0,1$  (м), масловіддільний типу 100ОМО циклонний.

Діаметр корпусу  $D_{\text{м}} = 0,426$  (м).

$D_{\text{м}}$  - діаметр вибранного сосуда.

Перевіряємо швидкість парів в посудині, яка не перевищує 1 (м/с)

$$w = \frac{4 \cdot m_{\text{м}} \cdot v_2}{\pi \cdot D_{\text{м}}^2} = \frac{4 \cdot 0,67 \cdot 0,155}{3,14 \cdot 0,426^2} = 0,729 \text{ (м/с)} < 1 \text{ (м/с)}. \quad (4.42)$$

де  $m_{\text{м}} = 0,67$  (кг/с) - масова витрата холодоагенту через масловіддільник (компресор).

$v_2 = 0,155$  (м<sup>3</sup>/кг) - питомий об'єм всмоктуваного пара (точка 2)

Маслозбірник підбираємо по продуктивності холодильної установки. Для середніх установок підбираємо маслозбірник типу 300СМ.

#### 4.3.3 Лінійні ресивери

Сумарна ємність лінійного ресивера для систем з проміжним холодоносієм повинна бути не менше ємності випарників по аміаку при заповненні ресиверів рідким холодоагентом не більше ніж на 80% їх ємності з урахуванням 50% робочого заповнення ресивера .

$$V_{\text{л.р.}} = \sum V_u \cdot 2,67 \cdot 1,25 = \sum V_u \cdot 3,3 = 3,2 \cdot 3,3 = 10,56 \text{ (м}^3\text{)}. \quad (4.43)$$

де  $V_u = 1,6 \text{ (м}^3\text{)}$  - обсяг міжтрубному простору випарника.

$\sum V_u = 2 \cdot 1,6 = 3,2 \text{ (м}^3\text{)}$  - обсяги міжтрубному простору випарника 160ІТГ по міжтрубному просторі.

Вибираємо лінійні ресивери типу 5РВ-2шт.  $D \cdot S = 1200 \cdot 12 \text{ (мм)}$ .

#### 4.3.4 Дренажні ресивери

Ємність дренажного ресивера визначається виходячи з можливості прийому рідкого холодоагенту з найбільш великого апарату (випарника) з урахуванням граничного заповнення не більше 40% для вертикальних ресиверів і 60% для горизонтальних.

$$V_{\text{др.}} = a \cdot V_{\text{и}} = 1,4 \cdot 1,6 = 2,24 \text{ (м}^3\text{)}. \quad (4.44)$$

де  $a=1,4$ - для горизонтальних ресиверів.

$V_{\text{и}}=1,6 \text{ (м}^3\text{)}$  - обсяг випарника 160ІТГ по міжтрубному просторі.

По таблиці підбираємо дренажний ресивер типу 2,5РД:  $D \cdot S = 800 \cdot 8 \text{ (мм)}$ .

#### 4.3.5 Розрахунок системи оборотного водопостачання

Розрахунок системи оборотного водопостачання передбачає підбір вентиляційних градирень, підбір циркуляційних насосів і визначення витрати енергії на роботу системи.

Вихідними даними при розрахунку є:

- теплова потужність градирні  $Q_{\text{гр.}}$

- температура зовнішнього повітря  $t_{\text{н.гр.}}^{\text{в}}$  і його вологість  $f_{\text{н}}^{\text{в}}$

$$t_{\text{н.гр.}}^{\text{в}} = t_{\text{ср.}}^{\text{в}} + (0,125 \div 0,15) \cdot t_{\text{макс}} = 24,7 + 0,125 \cdot 38 = 29,5 \text{ (}^{\circ}\text{C)}, \quad (4.45)$$

$$\text{де } t_{\text{ср.}}^{\text{в}} = 24,7 \text{ (}^{\circ}\text{C)}, t_{\text{макс}} = 38 \text{ (}^{\circ}\text{C)}.$$

Рівняння теплового балансу для градирні:

$$Q_{\text{гр.}} = m_{\text{в}}^{\text{гр.}} \cdot C_{\text{в}} \cdot (t_{\text{в2}} - t_{\text{в1}}) = L_{\text{гр.}} \cdot \rho_{\text{возд}} \cdot (h_{\text{возд2}} - h_{\text{возд1}}). \quad (4.46)$$

де  $m_{\text{в}}^{\text{гр.}}$  - масова витрата охолоджувальної води, (кг/с)

$C_B = 4,19$  кДж/(кг · °С) - теплоємність води

$L_{гр.}$  - об'ємна витрата повітря через градирню, (м<sup>3</sup>/с)

$\rho_{возд}$  - щільність повітря, кг/м<sup>3</sup>

$h_{возд1}, h_{возд2}$  - ентальпія повітря на вході і виході з градирні, (кДж/кг)

$t_{в1} = 24$  °С - температура виходу води з градирні (дорівнює температурі входу води в компресор  $t_B^{BX}$ ).

$t_{в2} = 28$  °С - температура входу води в градирню (дорівнює температурі виходу води з компресора  $t_B^{ВЫХ}$ ).

Теплова потужність градирні визначається:

$$Q_{гр.} = Q_k + Q_{км}^w = 1148,4 + 27,96 = 1176,36 \text{ (кВт)}. \quad (4.47)$$

де  $Q_k = 1148,4$  (кВт) - дійсна теплова потужність конденсаторів.

$Q_{км}^w$  - теплова потужність, що відводиться водою при охолодженні компресорів.

$$Q_{км}^w = m_B^{км.} \cdot C_B \cdot (t_B^{ВЫХ} - t_B^{BX}) = 6 \cdot 0,278 \cdot 4,19 \cdot (28 - 24) = 27,96 \text{ (кВт)}. \quad (4.48)$$

де  $m_B^{км.} = 1 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,278 \text{ кг/с}$  - масова витрата води через компресор типу П-220.

кількість компресорів – 6.

$t_B^{в\text{ых}}=28$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) - температура виходу води з компресора.

$t_B^{вх}=24$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) - температура входу води в компресор.

З рівняння теплового балансу визначаємо масова витрата охолоджувальної води через градирню:

$$m_B^{гр.} = \frac{Q_{гр.}}{C_B \cdot (t_{B2} - t_{B1})} = \frac{1176,36}{4,19 \cdot (28 - 24)} = 70,19 \text{ (кг/с)}. \quad (4.49)$$

Масова витрата охолоджувальної води через конденсатор:

$$m_B = \frac{Q_k}{C_B \cdot (t_{B2} - t_{B1})} = \frac{1148,4}{4,19 \cdot (28 - 24)} = 68,52 \text{ (кг/с)}. \quad (4.50)$$

Градирня вибирається по необхідній площі поперечного перері

$$F_{п.с.} = \frac{Q_{гр.}}{q_F} = \frac{1176,36}{46} = 25,57 \text{ (м}^2\text{)}. \quad (4.51)$$

де  $q_F=40\div 50$  ( $\text{кВт/м}^2$ ) - щільність теплового потоку (питома теплове навантаження) градирні, визначається по таблиці

Приймаємо  $q_F=46$  ( $\text{кВт/м}^2$ )

За площею поперечного перерізу градирні вибираємо градирню типу ГПВ-320 – з площею поперечного перерізу  $F=6,5$  ( $\text{м}^2$ ) вкількості



$$n = \frac{F_{п.с.}}{F} = \frac{25,57}{6,5} = 3,93 = 4 \text{ (шт.)}. \quad (4.52)$$

Технічна характеристика градирні:

Теплова продуктивність при $\Theta = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$ :	372,2 (кВт)
Площа поперечного перерізу градирні:	6,5 (м <sup>2</sup> )
Витрата охолоджувальної води:	17,76 (кг/с)
Витрата повітря:	16,90 (м <sup>3</sup> /с)
Місткість резервуару:	1,5 (м <sup>3</sup> )
Потужність електродвигуна вентилятора:	6,4 (кВт)
Частота обертів:	12 (с <sup>-1</sup> )
Розміри градирні	
в плані:	2212×3540(мм)
висота:	2485 (мм)
Маса:	2006 (кг)

4.3.6 Підбір насосів для систем оборотного водопостачання і контуру хладоносителя.

Підбір насосів здійснюється по об'ємному витраті рідини, циркулюючої в контурі.

$$V_{ж} = \frac{Q_{АП}}{C_{ж} \cdot \rho_{ж} \cdot \Delta t_{ж}}. \quad (4.53)$$

де  $Q_{АП}$  - сумарна теплова потужність теплообмінних апаратів (випарників або конденсаторів), кВт

$C_{ж}$  - теплоємність рідини, кДж/(кг·°C)

$\rho_{ж}$  - щільність рідини, кг/м<sup>3</sup>

$\Delta t_{ж}$  - зміна температур рідини в випарнику або конденсаторі.

Об'ємний витрата циркуляційної води при охолодженні конденсаторів:

$$V_B^к = \frac{1148,4}{4,19 \cdot 1000 \cdot 4} = 0,0685 \text{ (м}^3/\text{с)} = 246,6 \text{ (м}^3/\text{ч)}, \quad (4.54)$$

де  $Q_{АП} = 1148,4$  (кВт) - дійсна теплова потужність конденсаторів;

$C_B = 4,19$  (кДж/(кг·°C)) - теплоємність води;

$\rho_B = 1000$  (кг/м<sup>3</sup>) - щільність води;

$\Delta t_B = 4$  (°C) - зміна температур води в конденсаторі.

Так як за розрахунком у нас встановлені 4 градирні встановлюємо 4 насоса робітників і один резервний тієї ж потужності.

Об'ємний витрата води одним насосом:

$$V_B^н = \frac{246,6}{4} = 61,65 \text{ (м}^3/\text{ч)} = 17,12 \text{ (л/с)}. \quad (4.55)$$

З таблиці підбираємо тип насоса – 4К-18а – 4 шт. (+1 резервний)

Технічна характеристика:

Об'ємна продуктивність:	19,4 л/с(0,0194 м <sup>3</sup> /с)
Повний напір, що розвивається насосом:	18 м. в.ст.(176,58 кПа)
ККД насоса:	0,7
Потужність електродвигуна:	5,5 (кВт)
Частота обертів:	2900 (об/мин)

Потужність на валу насоса при напорі, що дорівнює опору контуру буде:

$$N_{\text{н}} = \frac{V_{\text{н}} \cdot \Delta p_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}} = \frac{0,0194 \cdot 176,58}{0,7} = 4,89 \text{ (кВт)}. \quad (4.56)$$

Потужність, споживана двигуном насоса:

$$N_{\text{дв.}} = \frac{N_{\text{н}}}{\eta_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{дв.}}} = \frac{4,89}{1 \cdot 0,95} = 5,15 \text{ (кВт)}. \quad (4.57)$$

де  $\eta_{\text{п}}=1$  - ККД привода;

$\eta_{\text{дв.}}=0,95$  - ККД двигуна;

Об'ємний витрата циркулюючого холодоносія (розсолу) у випарник:

$$V_{\text{х}}^{\text{н}} = \frac{Q_{\text{н}}^{\text{д}}}{C_{\text{х}} \cdot \rho_{\text{х}} \cdot (t_{\text{х1}} - t_{\text{х2}})} = \frac{785,84}{2,785 \cdot 1250 \cdot (-20 - (-24))} = 0,056 \text{ (м}^3/\text{с)} = 56 \text{ (л/с)}. \quad (4.58)$$

де  $C_{\text{х}}=2,785$  (кДж/(кг $\times$ °C)) - теплоємність холодоносія;

$\rho_{\text{х}}=1250$  (кг/м<sup>3</sup>) - щільність холодоносія;

$t_{\text{х1}}=-20$ (°C) - температура входу холодоносія в випарник;

$t_{\text{х2}}=-24$ (°C) - температура виходу холодоносія з випарника;

$Q_{\text{н}}^{\text{д}}=785,84$  (кВт) – дійсна теплова потужність випарника.

З таблиці вибираємо насос типу 6К-8а – 2 шт. (+1 резервний)

Технічна характеристика:

Об'ємна продуктивність: 38,9 (л/с(0,0389 м<sup>3</sup>/с))

Повний напір, що розвивається насосом: 28,5 м. в.ст.(279,6 кПа)

ККД насоса: 0,75

Потужність електродвигуна: 22 (кВт)

Частота обертів: 1450 (об/мин)

Потужність на валу насоса при напорі, що дорівнює опору контуру буде:

$$N_n = \frac{V_n \cdot \Delta p_n}{\eta_n} = \frac{0,0389 \cdot 279,6}{0,75} = 14,5 \text{ (кВт)}. \quad (59)$$

Потужність, споживана двигуном насоса:

$$N_{дв.} = \frac{N_n}{\eta_n \cdot \eta_{дв.}} = \frac{14,5}{1 \cdot 0,95} = 15,27 \text{ (кВт)}. \quad (4.60)$$

де  $\eta_n = 1$  - ККД приводу;

$\eta_{дв.} = 0,95$  - ККДдвигуна.

#### 4.4 Використання скидного тепла холодильної установки в системі теплофікації підприємства з використанням тепло насосної установки

Теплом підприємство забезпечує водогрійна котельня .Теплові навантаження котельні, МВт: загальне  $Q_{ЗАГ.} = 0,4$ , опалення та вентиляції  $Q_{ОПАЛ.} = 0,3$ , Гарячого водопостачання  $Q_{ГВП} = 0,1$ .

В котельні встановлені 4 газових котла по 100 кВт з ККД 88 % та витратою газу 11,5 м<sup>3</sup>/год. Визначимо річні затрати на газ котельні  $Z_{газ}$  при термінах періодів максимально-опалювального  $\tau_{мо} = 560$  годин , середньо-опалювального періоду  $\tau_{со} = 3700$  годин, неопалювального періоду  $\tau_{но} = 4500$  годин. Ціна газу- 11,8 (грн/м<sup>3</sup>). При максимально-опалювальному періоді працюють 4 котла, середньо-опалювальному -3 котла, в неопалювальній період працює 1 котел .Результати розрахунку наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Річні затрати на газ

Опалювальний період	Річна витрата газу $V_{\text{газ}}, \text{ м}^3$	Річні затрати на газ $Z_{\text{газ}}$ , грн.
Максимальний	25 760	304 000

Таблиця 4.2 – Продовження

Середній	127 650	1 506 300
Неопалювальний	51 750	610 650
Сума	205 160	2 421 000

Визначимо експлуатаційні затрати підприємства  $Z_{\text{експл}}$  як суму затрат на газ та затрат на електроенергію приводу

$$Z_{\text{пр}} = N_{\text{пр}} \cdot \tau \cdot c_{\text{еє}} = 400,1 \cdot 8760 \cdot 3 = 10\,515\,000 \text{ (грн/рік)}, \quad (4.61)$$

$$2\,421\,000 + 10\,515\,000 = 12\,936\,000 \text{ (грн.)}$$

Теплота від холодильної установки відводиться до атмосферного повітря чотирма градирнями теплової потужності 372,2 (кВт) кожна. Використаємо цю

теплоту для потреб теплофікації. Для цього перед градирнею встановимо теплонасосну установку (ТНУ) в якій будемо охолоджувати оборотну воду холодильної установки та гріти мережну воду системи теплофікації підприємства. Схема холодильної установки з ТНУ показана на рисунку 4.2.

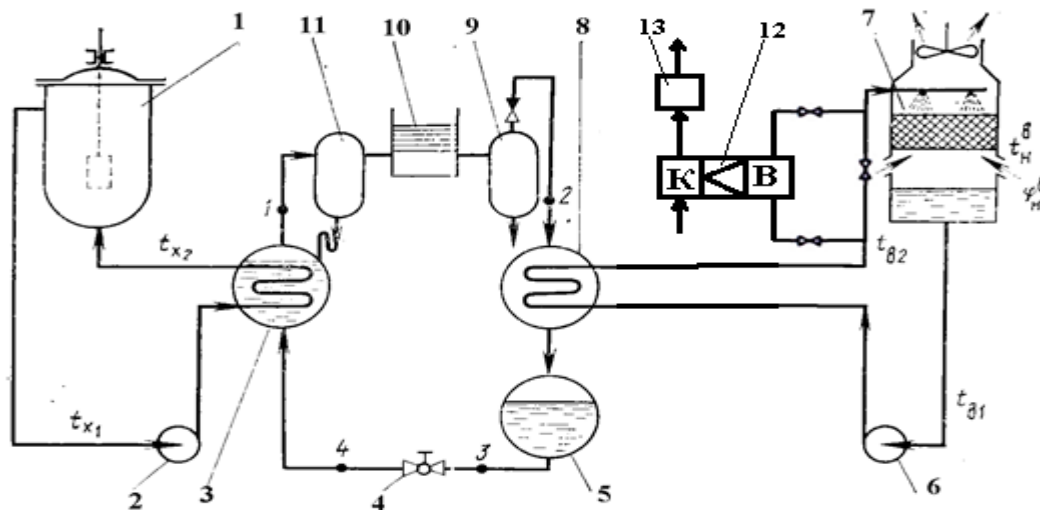


Рисунок 4.2 – Схема компресійної парової холодильної установки з ТНУ

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

В схемі теплота від оборотної води у випарнику ТНУ підводиться до холодоагента і в конденсаторі холодоагентом передається мережній воді системи теплофікації підприємства. Після ТНУ мережна вода догрівається до потрібної температури у догрівачу, в якості якого може бути використаний водогрійний котел. Визначимо показники ефективності, термін окупності. Початкові дані для розрахунків ТНУ приймемо наступними. Теплова потужність нижнього джерела теплової енергії, оборотної води, до 372 (кВт). Оборотна вода охолоджується з 28 до 24 градусів. Максимальна потужність теплофікації 400 квт. Ціна електроенергії  $c_{ee} = 3 \text{ грн / квт*год}$ .

Спочатку виберемо холодоагент розрахунками ТНУ на аміаку та фреонах. Результати розрахунків ТНУ на аміаку та фреонах наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Порівняльні характеристики холодоагентів

	Холодоагент	$t_{\text{конд}}^{\circ\text{C}}$	$t_{\text{обар}}^{\circ\text{C}}$	$Q_{\text{конд}}$ кВт	$Q_{\text{обар}}$ кВт	$N_{\text{компр}}$ 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, найменша потужність приводу компресора має аміачна ТНУ. Холодильна установка підприємства також аміачна. Тому приймаємо за холодоагент ТНУ аміак.

Воду з ТНУ можна догрівати в газовому догрівачу. Визначимо потужність компресора ТНУ при теплових навантаженнях ТНУ та догрівача відповідно, кВт: 250 та 150, 300 та 100, 350 та 50, 400 і 0. Результати розрахунків наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Результати розрахунків аміачної ТНУ при різних температурах конденсації аміаку

	$t_{\text{обар}}^{\circ\text{C}}$	$t_{\text{конд}}^{\circ\text{C}}$	$Q_{\text{конд}}$ кВт	$Q_{\text{обар}}$ кВт	$N_{\text{компр}}$ кВт	COP	$Q_{\text{догріву}}$ 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 для ТНУ з догрівачем при наведених температурах конденсації аміаку в максимальний зимовий період роботи, таблиця 4.5

Таблиця 4.5 – Результати розрахунків затрат на електроенергію та газ для ТНУ з догрівачем в максимальний зимовий період роботи

	$t_{\text{конд}}$ °C	Затрати на електроенергію привода компресора, грн	Затрати на газ догрівача, грн	Сумарні затрати
1	45	62160	114000	176160
2	50	85680	75992	161672
3	55	112560	38000	150560
4	60	145555	0	145555

Як видно з таблиці 4.5, сумарні затрати на електроенергію та на газ найменші при відсутності догрівача та максимальному навантаженні ТНУ.

Визначимо потужності компресора в опалювальні періоди, таблиця 4.6.

Таблиця 4.6 – Потужності компресора ТНУ в опалювальні періоди

	Опалювальні періоди	$t_{\text{конд}}$ °C	$t_{\text{обар}}$ °C	$Q_{\text{конд}}$ кВт	$Q_{\text{обар}}$ кВт	$N_{\text{компр}}$ кВт	COP
1	Максимальний зимовий	60	28	400	305	86,66	3,5
2	Середній	60	28	300	230	65,5	3,5
3	Літній	60	28	100	77	22	3,5

Визначимо затрати на електроенергію ТНУ в опалювальні періоди по формулі

$$Z_{\text{еe}} = N_{\text{пр}} \cdot \tau \cdot c_{\text{еe}}, \text{ (грн)}. \quad (4.62)$$



Для максимально-опалювального періоду затрати були визначені вище і складають  $Z_{ee \max} = 145\ 000$  (грн.).

Для середньо-опалювального періоду

$$Z_{eec.o.} = 65,5 \cdot 3700 \cdot 3 = 727\ 150 \text{ (грн.)} \quad (4.63)$$

Для неопалювального періоду

$$Z_{een.o.} = 22 \cdot 4500 \cdot 3 = 297\ 000 \text{ (грн.)} \quad (4.64)$$

Річні затрати на електроенергію ТНУ визначимо як сума затрат

$$Z_{eep} = Z_{eemax} + Z_{eec.o.} + Z_{een.o.} \quad (4.65)$$

$$Z_{eep} = 145\ 000 + 727\ 150 + 297\ 000 = 1\ 170\ 000.$$

Прийнявши що затрати на електроенергію холодильної установки після впровадження ТНУ не зміняться, визначимо річну економію експлуатаційних затрат після впровадження ТНУ

$$\Delta E = Z_{\text{газ}} - Z_{eep} \quad (4.66)$$

$$\Delta E = 2\ 421\ 000 - 1\ 170\ 000 = 1\ 251\ 000 \text{ (грн.)}$$

Визначимо капіталовкладення  $K_{тну}$  на ТНУ

$$K_{\text{ТНУ}} = Q_{\text{ТНУ}} \cdot c_{\text{ТНУ}}, \quad (4.67)$$

де-  $c_{\text{ТНУ}}$  (грн /кВт), питомі капіталовкладення.

Величину  $c_{\text{ТНУ}}$  оцінемо в 6000 грн/кВт.

Тоді  $K_{\text{ТНУ}} = 400 \cdot 6000 = 2\,400\,000$  грн

Визначимо техніко-економічні показники встановлення ТНУ для регенерації скидного тепла холодильної установки за методикою. Початкові дані до розрахунків наведені в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7. -Початкові дані

Показники	Позначення	Значення показника
1.Капіталовкладення, млн грн	К	2,4
Вартість економії енергії	ΔЕ	1,251
2.Річна норма амортизації основних засобів, %	Н <sub>А</sub>	12,5
3.Норма відрахувань на тепло обслуговування і ремонт	Н <sub>Р</sub>	7,0
4.Ставка податку на прибуток, %	С <sub>НП</sub>	30,0
5.Ставка податку на майно, %	С <sub>НИ</sub>	2,0
6.Норма дисконту, %	Е	10,0

Амортизація основних засобів

$$A = 0,01 N_A K = 0,01 \cdot 12,5 \cdot 2,4 = 0,3 \text{ (млн грн.)}. \quad (4.68)$$

Витрати на техобслуговування та ремонт:

$$P = 0,01 N_P K = 0,01 \cdot 7,0 \cdot 2,4 = 0,168 \text{ (млн грн.)}. \quad (4.69)$$

Економія поточних витрат (приріст прибутку):

$$\Delta C = \Delta E - (A + P) = 1,251 - (0,3 + 0,168) = 0,783 \text{ (млн грн.)}. \quad (4.70)$$

Приріст чистого прибутку підприємства:

$$\text{ЧП} = \Delta C (1 - 0,01 C_{\text{НП}}) = 0,783 \cdot (1 - 0,01 \cdot 30) = 0,5481 \text{ (млн грн.)}. \quad (4.71)$$

Річний дохід інвестиційного проекту:

$$D_t = \text{ЧП} + A = 0,5481 + 0,3 = 0,8481 \text{ (млн грн.)}. \quad (4.72)$$

#### 4.4.1 Аналіз ефективності капіталовкладень в проект

Критерії ефективності інвестицій визначаємо за спрощеною методикою, оскільки за умовами прикладу річний дохід постійний ( $D_t = D = \text{const}$ ). Розрахунок виконуємо в наступній послідовності.

Розрахунковий період приймаємо рівним нормативному терміну служби енергозберігаючого обладнання:

$$\dot{O} = \frac{100}{\dot{I}_{\lambda}} = \frac{100}{12,5} = 8 \text{ (років)}. \quad (4.73)$$

Знаходимо значення дисконтуючого множника за відомими значеннями  $E$  та  $T$ :  $a_{8,10} = 5,3349$  років

Чистий дисконтований дохід проекту визначається за формулою

$$\text{ЧДД} = D_t \cdot a_{8,10} - K = 0.8481 \cdot 5,3349 - 2.4 = 2.12 \text{ (млн грн.)}. \quad (4.74)$$

Індекс прибутковості проекту визначаємо за формулою

$$.ID = \text{ЧДД} / K + 1 = 2.12 / 2.4 + 1 = 1.88. \quad (4.75)$$

Розрахунок внутрішньої норми доходу здійснюємо в два етапи. На першому етапі знаходимо граничне (мінімальне) значення дисконтуючого множника, за якого проект не збитковий:

$$a_{T(\text{ПР})} = K / D = 2,4 / 0.8481 = 2,83 \text{ (року)} \quad (4.76)$$

При  $T=8$  років і  $a_{T(\text{ПР})} = 2,83$  знаходимо, що шукане значення ставки ВНД приблизно 33% (0.33)

#### 4.5.2 Розрахунок термінів окупності

Статичний термін окупності визначаємо за формулою

$$T_{o\text{ст}}=K/D=2,4/0.8481=2,83(\text{року}). \quad (4.77)$$

Динамічний термін окупності  $T_o$  знаходимо за  $a_{T(\text{ПР})} = 2,83$  року і нормі дисконту  $E=0,1$ . Шукане значення потрапляє в інтервал 3-4 роки і складає приблизно 3,5 року.

Граничні капіталовкладення в проект:

$$K_{\text{гр}}=K+\text{ЧДД}=2,4+2.12=4.52 \text{ (млн грн.)}. \quad (4.78)$$

Висновок по проекту. Всі розраховані критерії ефективності задовольняють умови доцільності інвестиційного проекту:

$\text{ЧДД}=2.12$  млн грн більше 0;

$\text{ІД}=1.88$  більше 1;

$\text{ВНД}=33\%$  (0.33) більше 10%(0.1)

$T_o=3,5$  року менше 8 років

Отже, проект доцільний та може бути рекомендований до впровадження.

## 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА. РОЗРАХУНОК КАПІТАЛОВКЛАДЕНЬ В СИСТЕМУ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

### 5.1 Мета розрахунків та характеристика вихідних даних

Відповідно до схеми електричної мережі підприємства та вихідних даних, необхідно виконати такі розрахунки:

1. Розрахувати величину капітальних вкладень в трансформаторні підстанції, кабельні лінії та високовольтні вимикачі.
2. Розрахувати оплату за спожиту електроенергію.
3. Розрахувати величину складових експлуатаційних витрат
4. Розрахувати собівартість електроенергії на підприємстві.

Таблиця 5.1 – Характеристики трансформаторних підстанцій

Підстанція	Тип трансформатора	Кількість трансформаторів	Розр. потужність підстанції, кВА
ТП 1	ТМ-630	2	780,7

Таблиця 5.2 – Відомості про кабельні лінії

Найменування ліній	Довжина лінії від ТП до ГПП, м	Марка кабелю	К-сть
ЦРП-ТП1	680	АПвЭБВ-10	1
ТП - РП1-7	1840	АВВГ	1

Потужність цехів підприємства наведені в таблиці 1.1

## 5.2 Розрахунок капіталовкладень в систему електропостачання

Капітальні вкладення для ліній електропередач:

$$K_{л} = (K_{пит} \cdot n + K_{прок}) \cdot L, \quad (5.1)$$

де  $K_{пит}$  - питома вартість на 1км лінії, тис. грн./км;

$K_{прок}$  - питома вартість прокладання, тис. грн./км;

$L$  - довжина лінії електропередачі, км.

$n$  – кількість кабелів в траншеї, шт.

Визначимо вартість прокладання кабельної лінії від ЦРП до ТП1:

$$K_{л1} = (42,64 \cdot 1 + 2,22) \cdot 0,68 = 30,51 \text{ (тис.грн.)}$$

Для інших ліній розрахунки виконуються аналогічно, результати розрахунків заносимо в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Розрахунок капіталовкладень для ліній електропередач

Назва лінії	Марка лю	Кіл-ть	Довжина, км	$K_{пит}$ , тис.грн	$K_{прок}$ , грн	$K_{л}$ , тис.грн
ЦРП – ТП1	АПвЭБВ-10	1	0,68	42,64	2,22	30,5
ТП1-Цех 1	АПвЭБВ-10	2	0,2	42,64	2,22	17,5

Таблиця 5.3 – продовження

ТП2-Цех 2	АПвЭБВ-101	0,21	42,64	2,22	9,4
ТП1-Цех 3	АПвЭБВ-101	0,19	42,64	2,22	8,5
ТП1-Цех 4	АПвЭБВ-102	0,17	42,64	2,22	14,8
ТП1-Цех 5	АПвЭБВ-102	0,15	42,64	2,22	13,1
ТП1-Цех 6	АПвЭБВ-101	0,2	42,64	2,22	8,9
ТП1-Цех 7	АПвЭБВ-101	0,2	42,64	2,22	8,9

Капітальні вкладення для електричних підстанцій будуть:

$$K_{\text{пс}} = \sum_{i=1}^l K_{\text{псі}} + K_{\text{пост}}, \quad (5.2)$$

де  $K_{\text{псі}}$  – вартість однієї трансформаторної підстанції, тис. грн.,

$K_{\text{пост}}$  - постійні витрати.

Визначаємо величину капіталовкладень для ТП–1

$$K_{\text{псі}} = 460 + 92 = 552 \text{ (тис.грн.)}$$

Розрахуємо сумарну вартість вимикачів

Сумарна вартість вимикачів

$$K_{\text{в}} = 2 \cdot 60 + 2 \cdot 110 = 340 \text{ (тис. грн.)}$$



Вартість підстанцій з вимикачами

$$K_{\text{пс}} = 552 + 340 = 892 \text{ (тис. грн.)}$$

Відповідно сумарна величина капітальних вкладень в систему електропостачання підприємства.

$$K = 111,6 + 892 = 1003,6 \text{ (тис. грн.)}$$

### 5.3 Розрахунок поточних витрат

#### 5.3.1 Розрахунок необхідної чисельності робітників

Трудомісткість технічного обслуговування не залежить від змінності роботи споживачів.

Планова трудомісткість, відповідно, визначається як, люд.-год./рік:

$$T = \Pi \cdot t_{\text{норм}} \cdot h, \quad (5.3)$$

де  $\Pi$  – кількість ремонтів даного виду за рік, на одиницю обладнання;

$t_{\text{норм}}$  – норма трудомісткості поточного ремонту або огляду, люд.-год.

$h$  – кількість обладнання певного діапазону потужності, що належить до цього виду ремонтних робіт.

Трудомісткість ремонту вимикачів 110 кВ, люд.-год./рік

$$T = 1 \cdot 20 \cdot 2 = 40.$$

Проводимо розрахунки трудомісткості ремонту іншого електрообладнання та заносимо їх результати до табл. 5.5.

Планова трудомісткість технічного обслуговування кожної групи енергетичного устаткування і мереж складає, люд.-год./рік:

$$T_{\text{то}} = 12 \cdot t_{\text{пр}} \cdot K_{\text{ср}} \cdot K_{\text{зм}} \cdot h, \quad (5.4)$$

де 12 – кількість місяців у році;

$t_{\text{пр}}$  – планова (таблична) трудомісткість поточного ремонту одиниці устаткування люд.-год.

$K_{\text{ср}}$  – коефіцієнт складності ремонту.

$h$  – кількість обладнання в групі.

Для вимикачів 110 кВ, люд-год/рік:

$$T_{\text{то}} = 12 \cdot 20 \cdot 0,1 \cdot 3 \cdot 2 = 144.$$

Проводимо розрахунки трудомісткості технічного обслуговування іншого електрообладнання та заносимо їх результати до табл. 5.4.

Обладнання	К-ть	Поточний ремонт			Огляд		
		К-сть на одиницю облад. рем/рік	Норма - місткості люд.год.	Заг. труд-місткість люд.год.	К-сть на одиницю облад. огл/рік	Норма труд-місткості люд.год.	Заг. труд-місткість люд.год.
Вимикач 110кВ	2	1	20	40	12	2	48
Роз'єднувач 110кВ	4	1	12	48	12	2	96
Трансформатор 110/10кВ	2	0,33	300	198	12	20	480
Вимикач 10кВ	2	1	16	32	12	1	24
ТМ-630	2	0,33	100	66	12	20	480
Кабельна лінія 35 мм <sup>2</sup> , км	2,52	1	30	75,6	1	10,5	26,46
Разом				459,6			1154,46

Таблиця 5.5 – Трудомісткість технічного обслуговування і загальна трудомісткість

Обладнання	К- лькість	Технічнеобслуговування				Загальна
		Змінність роботи	Коеф. складно- сті	К- місяці в	Загал. трудо- місткість люд.год.	трудо- місткість обслу- говування люд.год.
Вимикач 110кВ	2	3	0,1	12	144	192
Роз'єднувач 110кВ	4	3	0,1	12	172,8	268,8
Трансформатор 110/10кВ	2	3	0,1	12	2160	2640
Вимикач 10кВ	2	3	0,1	12	115,2	139,2
ТМ-630	2	3	0,1	12	720	1200
Кабельна лінія 35 мм <sup>2</sup> , км	2,52	3	0,1	12	272,16	298,62
Разом					3584,16	4738,62

Якщо ремонтний персонал виконує лише поточні ремонти, то його чисельність

$$N_{\text{пр}} = \frac{T_{\text{пр}}}{\Phi_{\text{д}} \cdot K_{\text{в.н}}}, \quad (5.5)$$

Експлуатаційні робітники, чол.

$$H_{\text{обс}} = \frac{T_{\text{обс}}}{\Phi_{\text{обс}} \cdot K_{\text{в.н}}}, \quad (5.6)$$

де  $T_{\text{пр}}$  – річна планова трудомісткість поточного ремонту, люд·год;

$\Phi_{\text{д}}$  – дійсний (ефективний) фонд часу роботи одного робітника за рік; приймається рівним 1850-1900 год;

$K_{\text{вн}}$  – плановий коефіцієнт виконання норм для даної категорії робітників. При розрахунках приймаємо для ремонтного персоналу  $K_{\text{вн}} = 1,10$ , а для експлуатаційного -  $K_{\text{вн}} = 1,05$ ;

$T_{\text{обс}}$  – річна планова трудомісткість технічного обслуговування з урахуванням витрат праці на огляди, люд·год.

Знаходимо кількість експлуатаційних робітників, чол.:

$$H_{\text{обс}} = \frac{4738,62}{1900 \cdot 1,05} = 2,47,$$

та персоналу для ремонтних робіт, чол.:

$$H_{\text{тр}} = \frac{459,6}{1900 \cdot 1,1} = 0,23.$$

Приймаємо  $H_{\text{тр}} = 2$  чол.,  $H_{\text{обс}} = 3$  чол.

### 5.3.2 Розрахунок витрат по заробітній платі

Для розрахунку оплати праці експлуатаційних робітників рекомендується використовувати погодинно-преміальну систему, а для ремонтного персоналу – відрядно-преміальну. Величина премії (відповідно до категорій енергоперсоналу) може бути прийнята в розмірі 20 і 25%.

Фонд прямої заробітної плати:

а) для робітників, зайнятих на роботах по експлуатації й обслуговуванню енергообладнання і мереж, розраховується за формулою, (грн./рік)

$$\Phi_e = N_{\text{обс}} \cdot \beta_n \cdot t_{\text{ге}} \cdot \Phi_d \quad (5.7)$$

Годинну тарифну ставку рекомендується розраховувати за формулою

$$t_{\text{ге}} = ((K3 + K4) / 2) \cdot C_1, \quad (5.8)$$

де  $K3, K4$  – тарифні коефіцієнти III та IV розрядів, відповідно,

$C_1$  – годинна тарифна ставка, що відповідає I розряду, визначається за формулою

$$C_1 = \frac{Z_{\text{min}} \cdot k_{r,i}}{\Phi_H}, \quad (5.9)$$

де  $Z_{\text{min}}$  – мінімальний розмір заробітної плати;

$k_{r,i}$  – тарифний коефіцієнт робітника  $i$ -го розряду;

$\Phi_H$  – номінальний місячний фонд робочого часу ( $\Phi_H = 22 \cdot 8 = 176$  год).

$$C_1 = 3500 \cdot 1/176 = 19,88 \text{ (грн./год)}.$$

Тоді годинна тарифна ставка 3,5 розряду становитиме

$$t_{re} = ((1,18 + 1,27)/2) \cdot 19,88 = 24,353 \text{ (грн./год)}.$$

Заробітна плата робітників-погодинників:

$$\Phi_e = 3 \cdot 0,9 \cdot 24,353 \cdot 1900 = 124930,89 \text{ (грн./рік)}.$$

Для робітників, які виконують поточний ремонт енергоустаткування, фонд прямої заробітної плати розраховується за формулою, грн./рік:

$$\Phi_p = T_{гр} \cdot t_{гр}, \quad (5.10)$$

$$T_{гр} = ((K_4 + K_5)/2) \cdot C_1, \quad (5.11)$$

де  $K_4$ ,  $K_5$  – тарифні коефіцієнти IV та V розрядів, відповідно.

Розраховуємо годинну тарифну ставку 4,5 розряду:

$$t_{\text{гр}} = ((1,27 + 1,36) / 2) \cdot 19,88 = 26,14 \text{ (грн./год)},$$

$$\Phi_p = 459,6 \cdot 26,14 = 12013,94 \text{ (грн./рік)}.$$

Фонд основної заробітної плати, грн./рік:

$$\Phi_o = \Phi(1 + 0,05 + 0,01 + \alpha), \quad (5.12)$$

де  $\Phi$  – тарифний фонд  $\Phi_e$  експлуатаційних робітників або фонд прямої заробітної плати  $\Phi_p$  ремонтного персоналу, грн./рік;

0,01 – частка доплат за роботу у святкові дні;

0,05 – частка доплат за роботу в нічний час;

$\alpha$  – частка преміальних доплат для відповідної категорії робітників.

Величина основної заробітної плати для експлуатаційних робітників:

$$\Phi_{oe} = 124930,89 \cdot (1 + 0,05 + 0,01 + 0,2) = 157412,92 \text{ (грн./рік)},$$

і для ремонтних:

$$\Phi_{op} = 12013,94 \cdot (1 + 0,05 + 0,01 + 0,25) = 15738,26 \text{ (грн./рік)}.$$



Сумарна величина фонду з врахуванням додаткової заробітної плати складе, грн./рік:

$$\Phi_{\text{од}} = \Phi_{\text{о}} \cdot 1,15, \quad (5.13)$$

$$\Phi_{\text{оед}} = 157412,92 \cdot 1,15 = 181024,8 \text{ (грн./рік)},$$

$$\Phi_{\text{орд}} = 15738,26 \cdot 1,15 = 18099,1 \text{ (грн./рік)}.$$

Витрати по заробітній платі ( $C_{\text{зп}}$ ) розраховуються так, грн./рік:

$$C_{\text{зп}} = \Phi_{\text{об}} \cdot \left(1 + \frac{\beta_{\text{п}} + \beta_{\text{з}} + \beta_{\text{с}}}{100}\right), \quad (5.14)$$

де  $\beta_{\text{п}}$  – нарахування в пенсійний фонд,  $\beta_{\text{п}} = 32\%$  ;

$\beta_{\text{з}}$  – нарахування у фонд зайнятості,  $\beta_{\text{з}} = 1,5\%$  ;

$\beta_{\text{с}}$  – нарахування на соціальне страхування,  $\beta_{\text{с}} = 1,5\%$  .

Відповідно розраховуємо витрати по заробітній платі експлуатаційному персоналу

$$C_{\text{зпе}} = 181024,8 \cdot \left(1 + \frac{32 + 1,5 + 1,5}{100}\right) = 244383,5 \text{ (грн./рік)};$$

і ремонтному персоналу:

$$C_{\text{зпр}} = 18099,1 \cdot \left(1 + \frac{32 + 1,5 + 1,5}{100}\right) = 24433,65 \text{ (грн./рік)}.$$

Таблиця 5.7 – Розрахунок витрат по заробітній платі

Показник		Заробітна плата	
Ф <sub>е</sub>	Заробітна плата експлуатаційного персоналу	124930,89	грн.
Ф <sub>р</sub>	Заробітна плата ремонтного персоналу	12013,94	грн.
Ф <sub>оє</sub>	Величина основної ЗП експлуатаційного персоналу	157412,92	грн.
Ф <sub>ор</sub>	Величина основної ЗП ремонтного персоналу	15738,26	грн.
Ф <sub>оєд</sub>	Основний фонд ЗП експлуатаційного персоналу	181024,8	грн.
Ф <sub>орд</sub>	Основний фонд ЗП ремонтного персоналу	18099,1	грн.
С <sub>зпе</sub>	Витрати по ЗП експлуатаційного персоналу	244383,5	грн.
С <sub>зпр</sub>	Витрати по ЗП ремонтного персоналу	24433,65	грн.

#### 5.4 Планування вартості матеріалів що витрачаються

Розрахунок необхідної на рік кількості основних матеріалів для усіх видів ремонтів і технічного енергетичного обслуговування устаткування та мереж розробляється на основі трудомісткості і існуючих норм витрат матеріалів. Якщо на окремі види матеріалів норми відсутні, підприємство розробляє їх самостійно і затверджує.

Розрахунок трудомісткості спрощується при виконанні його в табличній формі. Оскільки вартість конкретного виду матеріалу можна визначити як добуток норми його витрат на ціну, то доцільно по кожному виду устаткування і мереж визначити підсумкову вартість усіх матеріалів, а потім її помножити на трудомісткість поточного ремонту чи технологічного обслуговування.

Таблиця 5.8 – Розрахунок вартості матеріалів, включених у норму витрат

Матеріал	Ціна матеріалу, грн.	Норми витрат матер. на 100 люд.-год. трудомісткості ремонту і тех. обслуговування		Вартість матеріалу, грн.	
		630	1000	630	1000
Силові трансформатори		630	1000	630	1000
Сталь сортова, кг	13,38	6	6	80,3	80,3
Провід установлюваний, м	5,55	0,5	0,5	2,7	2,7

Таблиця 5.8 – продовження

Мідь-алюміній (гола), кг	124,6	62	62	7726,4	7726,4
Картон електроізоляційний, кг	60,08	1,4	1,4	84,1	84,1

Лакотканина (ширина 700мм), м	166,6	0,2	0,2	33,3	33,3
Кабельний папір, кг	49,1	0,6	0,6	29,4	29,4
Стрічка кіперна, кг	600,8	40	40	24034,2	24034,2
Стрічка тафтяна, кг	446,3	18	18	8034,8	8034,8
Стрічка азбестова, м	13,1	0,05	0,05	0,6	0,6
Лаки ізоляційні, кг	71,8	1,5	1,5	107,8	107,8
Емалі ґрунтові, кг	78,8	2,5	2,5	197,1	197,1
Масло трансформаторне, кг	24,3	0,58	0,58	14,1	14,1
Бензин, кг	12,3	0,7	0,7	8,6	8,6
Розчиники кг	34,8	0,8	0,8	27,8	27,8
Маслостійка гума, кг	89,3	0,4	0,4	35,7	35,7
Гума профільна, кг	89,3	0,13	0,13	11,6	11,6

Таблиця 5.8 – продовження

Припій олов'яно- свинцевий, кг	850,6	0,02	0,02	17,01	17,01
Припій мідно- фосфорний, кг	158,1	0,03	0,03	4,7	4,7

Електроди, кг	29,3	0,15	0,15	4,4	4,4
Засоби кріплення, кг	37,4	2	2	74,8	74,8
Дріт кручений,	4,8	0,3	0,3	1,4	1,4
Матеріали обтиску, кг	48,7	0,4	0,4	19,4	19,4
Разом:				40551,07	40551,07

Вартість матеріалу на технічну операцію:

$$C_m = 0,01 \cdot \left( \sum_{i=1}^n C_{oi} \cdot T_i + L \cdot C_{л0} \right). \quad (5.15)$$

де  $C_{oi}$  – питома вартість витратних матеріалів на обслуговування  $i$ -го виду трансформаторів,

$T_i$  – трудомісткість обслуговування  $i$ -го виду трансформаторів,

$L$  – сумарна довжина кабелів,

$C_{л0}$  – питома вартість матеріалів на обслуговування кабелів.

Отже, вартість матеріалів, потрібних на ремонт:

$$C_{мр} = 0,01 \cdot (66 \cdot 40551,08 + 2,52 \cdot 29,7) = 26763,83 \text{ грн/рік};$$

$i$  вартість матеріалів, потрібних на технічне обслуговування:

$$C_{\text{мто}} = 0,01 \cdot (1200 \cdot 40551,08 + 2,52 \cdot 29,7) = 486613,5 \text{ грн/рік.}$$

Таблиця 5.9 – Планування вартості матеріалів, що витрачаються

Назва об'єкта	Вартість витрат матеріалів на 100 норм.год	Ремонт		Обслуговування	
		Загальна трудомісткість ремонтів	Вартість витрат матеріалів грн.	Загальна трудомісткість обслуговування	Вартість витрат матеріалів грн.
ТМ-630	40551	66	2676371,2	1200	48661296
Кабелі	29,7	75,6	0,74	298,62	0,74
Всього витрат на матеріали			26763,83		486613,5

Отже, можна розрахувати:

витрати на обслуговування електроустановок і мереж, тис. Грн/рік:

$$C_{\text{обс}} = C_{\text{зпе}} + C_{\text{мто}}, \quad (5.16)$$

$$C_{\text{обс}} = 244383,5 + 486613,5 = 730997 \text{ (грн/рік).}$$

та витрати на їх поточний ремонт, грн/рік:

$$C_{\text{пр}} = C_{\text{зпр}} + C_{\text{мпр}}, \quad (5.17)$$

$$C_{\text{пр}} = 26586,75 + 26763,83 = 53350,58 \text{ (грн/рік)}.$$

## 5.5 Визначення амортизаційних відрахувань та інших витрат

Знаходимо амортизаційні відрахування за формулою

$$C_a = a \cdot K, \quad (5.18)$$

де  $a$  – норма амортизації, %

$K$  – капіталовкладення, грн.

$$C_a = 0,06 \cdot 1003600 = 60216 \text{ (грн/рік)}.$$

Окремою складовою в кошторисі річних поточних витрат виділяються інші витрати. Їх можна приймати в розмірі 20 - 30% від суми витрат на обслуговування, поточний ремонт і амортизацію, тис. грн/рік

$$C_{\text{іп}} = \beta_{\text{іп}}(C_{\text{обс}} + C_{\text{пр}} + C_a), \quad (5.19)$$

де  $\beta_{ip}$  – коефіцієнт відрахувань на інші витрати.

$$C_{ip}=0,25 \cdot (730997+ 53350,58 + 60216) = 215029,54 \text{ (грн/рік)}.$$

Після визначення всіх елементів витрат підприємства, необхідних для передавання і розподілення електроенергії, зведемо їх в таблицю 5.10.

Таблиця 5.10 – Кошторис річних поточних витрат

Стаття витрат	Величина витрат, грн.	Структура, % до підсумку
Витрати по експлуатації обладнання	730997	69,24
Витрати на поточний ремонт	53350,58	5,05
Витрати на амортизацію	60216	5,7
Інші витрати	2111140,8	20
Разом	1055704,4	100

## 5.6 Розрахунок собівартості електроенергії

5.6.1 Розрахунок річного споживання і втрат електроенергії. Розрахунок оплати за електроенергію

Розрахунок обсягу споживання виходячи з розрахункової потужності

$$E_{ai} = P_p \cdot T_{mi}, = K_{п} \cdot P_{ном} \cdot T_{mi}, \quad (5.20)$$



де  $P_p$  – розрахункова потужність і-го цеху, кВт;

$T_{mi}$  – річна тривалість використання максимуму активного навантаження і-ого цеху, год.;

$K_n$  – коефіцієнт попиту.

Для прикладу визначимо річні витрати активної електроенергії для першого цеху:

$$E_{a1} = 210,88 \cdot 4500 = 948960 \text{ (кВт·год./ рік).}$$

Аналогічно визначаємо річні витрати активної електроенергії для інших цехів. Результати розрахунків заносимо в таблицю 3.1.

Таблиця 5.11 – Річні витрати активної електроенергії по цехах

Назва цеху	Кількість змі	$S_p$ , кВА	$T_m$ , год.	$\cos \varphi$	$P_p$ , кВт	$E_a$ , кВт·год./р
Холодильний цех	3	240,33	4500	0,8	210,88	948960
Овочесховище	3	75,48	4500	0,85	57,43	258435
Адмінбудівля	3	46,86	4500	0,85	41,53	186885

Таблиця 5.11 – продовження

Гарячий цех	3	118,02	4500	0,8	99,91	449595
Пекарня	3	118,02	4500	0,8	99,91	449595
Торговий зал	3	159,74	4500	0,8	133,34	600030
Склад	3	61,48	4500	0,85	54,47	245115
Разом					697,49	3138615

Втрати електроенергії в лініях розраховуємо так:

$$\Delta E_{\text{л}} = 3 \cdot n \cdot I_{\text{м}}^2 \cdot R \cdot \tau \cdot 10^{-3}, \quad (5.21)$$

де  $I_{\text{м}}$  – максимальний струм у лінії, А;

$\tau$  – час максимальних втрат, год./рік.

$R$  – активний опір проводу або кабелю однієї фази, Ом;

$n$  – кількість кабелів в лінії.

$$R = r_0 \cdot L, \quad (5.22)$$

де  $r_0$  – питомий опір однієї фази кабелю, Ом / км,

Величина  $\tau$  визначається за часом використання максимального навантаження

$$\tau_{\text{м}} = \left( 0,124 + \frac{T_{\text{м}}}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = \left( 0,124 + \frac{4500}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 2886,2 \text{ (год.)}$$

Для лінії ЦРП –ТП1:

Активний опір однієї фази кабелю від ГПП до ТП1

$$R = 0,46 \cdot 0,68 = 0,31 \text{ (Ом)}.$$

Відповідно втрати електроенергії в лінії ГПП-ТП1:

$$\Delta E_{\text{л}} = 3 \cdot 1 \cdot 122,4^2 \cdot 0,31 \cdot 2886,2 \cdot 10^{-3} = 40213,5 \text{ (кВт·год./рік)}.$$

Аналогічно виконуємо розрахунок втрат електроенергії в інших лініях і результати заносимо до табл. 5.12.

Таблиця 5.12 – Втрати електроенергії в лініях

Лінія	Марка кабелю	К-сть ліній	Довжина, км	I <sub>М</sub> , А	R, Ом	τ, год./рік	R <sub>пит</sub> , Ом/км	ΔE <sub>л</sub> , кВт·год.
ЦРП – ТП1	АПвЭБВ-10 3x35	1	0,68	122,4	0,31	2886,2	0,46	40213,5
ТП-РП	АВВГ 3x35	1	1,84	346,9	1,59	2886,2	0,868	1656736,3

Втрати електроенергії в трансформаторах визначають за формулою, тис. кВт·год./рік:

$$\Delta E_T = n \cdot \Delta P_{xx} \cdot T_p + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{кз} \cdot \left( \frac{S_\phi}{S_H} \right)^2 \cdot \tau, \quad (5.23)$$

де n - кількість трансформаторів;

ΔP<sub>кз</sub> і ΔP<sub>xx</sub> – величини номінальних втрат у трансформаторах, відповідно, при короткому замиканні і холостому ході, кВт;

T<sub>p</sub> - час роботи трансформаторів, год./рік (приймається рівним 8760 год./рік);

S<sub>φ</sub> - фактична потужність, яка передається через трансформатори, кВА;

S<sub>H</sub> - номінальна потужність одного трансформатора, кВА.

Відповідно втрати енергії в трансформаторах КТП-1

$$\Delta E_T = 2 \cdot 1,3 \cdot 8760 + (1/2) \cdot 7,6 \cdot \left( \frac{818,35}{630} \right)^2 \cdot 2886,2 = 41281,76 \text{ Вт} \cdot (\text{год.}/\text{рік}).$$

Для інших КТП проводимо аналогічні розрахунки і їх результати зводимо у табл. 5.13.

Таблиця 5.13 – Втрати енергії в трансформаторах

№	Тип т-ра	К-сть	ΔP <sub>x</sub> , кВт	ΔP <sub>к</sub> , кВт	S <sub>p</sub> , кВА	S <sub>H</sub> , кВА	ΔE <sub>T</sub> , кВт·год./рік
КТП-1	ТМ-630	2	1,3	7,6	818,35	630	41281,76

Загальна потреба підприємства в електроенергії, кВт·год./рік:

$$E = E_a + \Delta E_{\text{л}} + \Delta E_{\text{T}}, \quad (5.24)$$

$$E = 3138615 + 1696949,3 + 41281,7 = 4876846,1 (\text{кВт} \cdot \text{год.}/\text{рік}).$$

Оплата за електроенергію при одноставковому тарифі визначається як:

$$\Pi_1 = v \cdot E / 100, \text{ грн.}, \quad (5.25)$$

де  $v$  – ставка тарифу за 1 кВт·год споживаної активної електроенергії, грн.;

$E$  – кількість енергії, що споживається, врахована по лічильнику.

$$\Pi_1 = 2,5 \cdot 4876846,1 = 12192115,12 \text{ грн.}$$

Розрахунок собівартості

Собівартість корисної, споживаної підприємством кіловат-години електроенергії, коп./кВт·г:

$$S = \frac{C_{\text{сум}} \cdot 100}{E_a}, \quad (5.26)$$

де  $C_{\text{сум}}$  – величина сумарних витрат підприємства на електроенергію, тис.грн/рік;

$E_a$  – річна кількість корисно споживаної підприємством електроенергії, тобто без врахування втрат у лініях і трансформаторах, кВт·год./рік.

Загальні витрати підприємства на електроенергію за рік будуть складати, тис. грн./рік

$$C_{\text{сум}} = \Pi + C_{\text{п}}, \quad (5.27)$$

де  $\Pi$  – оплата за спожиту електроенергію;

$C_{\text{п}}$  – річні витрати підприємства при передаванні електроенергії.

Річні витрати промислового підприємства, зв'язані з передаванням і розподілом електричної енергії, включають такі складові, тис.грн/рік

$$C_{\pi} = C_{\text{обс}} + C_{\text{пр}} + C_a + C_{\text{ір}}, \quad (5.28)$$

де  $C_{\text{обс}}$  – витрати підприємства на матеріали та зарплату персоналу при обслуговуванні електромереж і устаткування, грн/рік.;

$C_{\text{пр}}$  – річні витрати на поточний ремонт устаткування і мереж, грн/рік;

$C_a$  – амортизаційні відрахування при експлуатації електроустановок підприємства, грн/рік.

$$C_{\pi} = 1055704,4 \text{ (грн/рік)}.$$

Отже, сумарні витрати визначаються так:

$$C_{\text{сум}} = 12192115,12 + 1055704,4 = 13247819,5 \text{ (грн/рік)}.$$

Отже, собівартість електроенергії

$$S = \frac{13247819,5 \cdot 100}{3138615} = 422,1 \text{ (коп./кВт·год)}.$$

Для наочності результати розрахунків зводимо в таблицю 5.14.

Таблиця 5.14 –Результати розрахунків

Показники	Позначення	Величина показників	Одиниця вимірювання
Кількість корисно спожитої електроенергії	$E_a$	3138615	кВт·год.
Річне споживання електроенергії із втратами	$E$	4876846,1	кВт·год.
Плата за електроенергію	$\Pi_1$	12192115,12	грн.

Витрати на передачу і розподіл електроенергії	$C_{\Pi}$	1055704,4	грн.
Сумарні витрати підприємств	$C_{\text{сум}}$	13247819,5	грн.
Собівартість електроенергії	$S$	422,1	коп/кВт·год.

## Висновок

В роботі було здійснено розрахунок собівартості електроенергії на промисловому підприємстві.

Було проаналізовано вихідні дані та розраховано розмір капіталовкладень в систему електропостачання. Сумарна величина капітальних вкладень в систему електропостачання підприємства для даного варіанту склала 1003,6 тис. грн.

Визначено необхідну кількість робочого персоналу, витрати по заробітній платі, вартість витратних матеріалів та величину амортизаційних відрахувань. Для розрахунку оплати праці експлуатаційних робітників прийнято погодинно-преміальну систему, а для ремонтного персоналу – відрядно-преміальну. Витрати по заробітній платі експлуатаційного персоналу склали 244383,5 грн. Витрати по заробітній платі ремонтного персоналу – 26586,75 грн.

Проведено розрахунок річного споживання і втрат електроенергії, а також визначено плату за електроенергію. Величина собівартості електроенергії склала 422,9 коп./кВт·год. Тобто, кожна витрачена кВт·год коштує підприємству 422,9 коп.

В розділі «Охорони праці та цивільний захист» розглянуті технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта, технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії та безпека у надзвичайних ситуаціях.

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ

На початку минулого століття техніки безпеки, виробничої санітарії і пожежної безпеки можна було досягти завдяки порівняно простим технічним заходам і засобам. Раніше в процесі виробництва використовувалася сировина з відомими токсичними й пожежними властивостями: технологічне обладнання, машини та інструменти були нескладними, а виробничі будівлі за площею та об'ємом були невеликими. Удругій половині ХХ століття докорінно змінилися продуктивні сили, розширилося виробництво, виникли нові галузі промисловості.

Виникла необхідність у глибокому вивченні біологічної, фізичної і хімічної сутності впливу шкідливих і небезпечних чинників, у прогнозуванні їх виникнення, щоб завчасно на підставі фундаментальних, технічних і медичних наук впроваджувати заходи захисту від них на стадії проектування, конструювання й виробничої експлуатації.

На інженера-проектувальника, згідно ГОСТ 12.0.003-74 [11], мають вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

### 1. Фізичні:

- підвищена та понижена температура;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищена та знижена рухомість повітря;
- підвищена і понижена іонізація повітря;
- підвищений рівень статичної електрики;
- підвищений рівень електромагнітного випромінювання;
- недостатня освітленість робочої зони.

### 2. Психофізіологічні:

#### б) психофізіологічні:

- перевантаження фізичні (динамічні)

– нервово-психічні (монотонність роботи, перенапруга аналізаторів).статичне перевантаження.

Відповідно до визначених факторів формуємо рішення щодо безпеки при проведенні дослідження.

## 6.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

### 6.1.1 Технічні рішення щодо організації робочих місць

Дослідження засобів критеріального моделювання для задач оптимального керування відбувалася в приміщенні, яке обладнане комп'ютеризованим робочим місцем (рисунок 4.1).

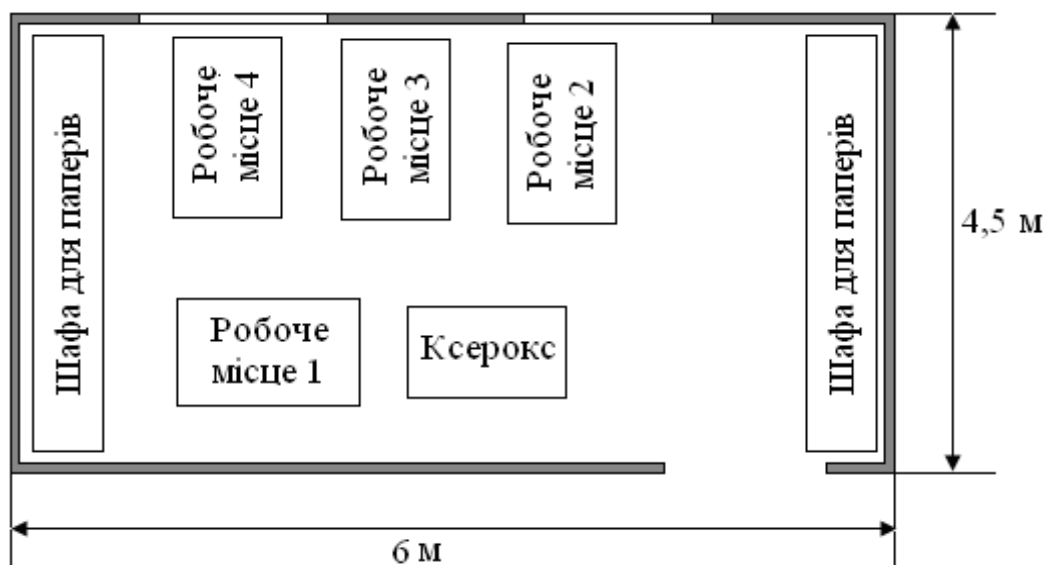


Рисунок 6.1– Схема приміщення

Приміщення, де відбувалося дослідження засобів критеріального моделювання для задач оптимального керування розташоване в п'ятиповерховому будинку, залізобетонної конструкції, на третьому поверсі. Поблизу будівлі є багатоповерховий будинок який зменшує природну освітленість приміщення та автодорога, яка є джерелом шуму та вібрацій. Загальна площа приміщення складає



27 м<sup>2</sup>, при висоті стелі 3,0 метри. У приміщенні є 2 вікна шириною 2,3 м і висотою 1,5 м і двері шириною 1,5 м. У приміщенні працює 4 особи. Тобто площа на одного працівника складає 6,75 м<sup>2</sup>, що повністю відповідає встановленим нормам, згідно НПАОП 0.00-1.28-10 [2].

У приміщенні наявні 4 комп'ютери з рідкокристалічними моніторами, телефон та копіювальна техніка. Ці прилади використовуються виключно за призначенням.

У приміщенні також є 4 комп'ютерних столи, 4 офісних крісла і 2 шафи для документів. Усі вони розміщені відповідно до їх функціонального призначення, а їх кількість відповідає номенклатурі знарядь праці, змісту та особливостям виконуваної роботи.

Конструкція робочого столу дослідника відповідає сучасним вимогам ергономіки і забезпечує оптимальне розміщення на робочій поверхні використовуваного обладнання (дисплея, клавіатури) і документів. Висота робочої поверхні столу становить 750 мм, а ширина - 1300 мм, глибина - 900 мм. Робочий стіл має простір для ніг заввишки 700 мм, завширшки – 950 мм, завглибшки (на рівні колін) 550 мм.

Робоче крісло є підйомно-поворотним, регульованим за висотою, з переднім заокругленим краєм. Висота поверхні сидіння регулюється в межах від 400 до 500 мм, а ширина і глибина становлять по 450 мм. Кут нахилу спинки регулюється в межах від 0° до 30° відносно вертикального положення. Для зниження статичного напруження м'язів верхніх кінцівок встановлені стаціонарні підлокітники завдовжки 250 мм. Поверхня сидіння відповідає усім вимогам.

Зручна робоча поза при роботі з комп'ютером забезпечується регулюванням висоти робочого столу, крісла та підставки для ніг. Раціональною робочою позою може вважатися таке положення, при якому ступні працівника розташовані горизонтально на підлозі або підставці для ніг, стегна зорієнтовані у горизонтальній площині, верхні частини рук - вертикальні.

Монітор комп'ютера розташовується на відстані 700 мм від очей користувача. Клавіатура розташована на поверхні столу на відстані 200 мм від краю, звернутого до працюючого. У конструкції клавіатури передбачений опорний пристрій, який дає

змогу змінювати кут нахилу поверхні клавіатури у межах від 5 до 15. Таким чином, ергономічні параметри робочого місця відповідають вимогам до їх організації та конструкції та забезпечують підтримання оптимальної робочої пози під час проведення дослідження засобів критеріального моделювання для задач оптимального керування.

Робочі місця мають розташовані на відстані не менше 1,5 м від стіни з вікнами, від інших стін на відстані 1 м, між собою на відстані не менше 1,5 м. Відносно вікон робоче місце доцільно розташовувати таким чином, щоб природне світло падало на нього збоку, переважно зліва. В даному випадку, перше робоче місце не відповідає зазначеній вимозі.

Екран дисплея дослідника розташований перпендикулярно до напрямку погляду. При роботі з текстовою інформацією (в режимі введення даних та редагування тексту, читання з екрану) найбільш фізіологічним правильним є зображення чорних знаків на світлому (чорному) фоні.

Періодично досліднику необхідно рухатися, вчасно змінювати положення тіла і робити перерви у роботі. При напруженій роботі за комп'ютером щогодини необхідно робити перерву на 15 хвилин через кожну годину і треба займатися іншою справою. Декілька разів на годину бажано виконувати серію легких вправ для розслаблення.

Вимоги безпеки перед початком роботи:

- увімкнути систему кондиціонування в приміщенні;
- перевірити надійність встановлення апаратури на робочому столі. Повернути монітор так, щоб було зручно дивитися на екран - під прямим кутом (а не збоку) і трохи зверху вниз, при цьому екран має бути трохи нахиленим, нижній його край ближче до оператора;
- перевірити загальний стан апаратури, перевірити справність електропроводки, з'єднувальних шнурів, штепсельних вилок, розеток, заземлення захисного екрана;
- відрегулювати освітленість робочого місця;
- відрегулювати та зафіксувати висоту крісла, зручний для користувача нахил

його спинки;

–приєднати до системного блоку необхідну апаратуру. Усі кабелі, що з'єднують системний блок з іншими пристроями, слід вставляти та виймати при вимкненому комп'ютері;

–ввімкнути апаратуру комп'ютера вимикачами на корпусах в послідовності: монітор, системний блок, принтер (якщо передбачається друкування);

–відрегулювати яскравість свічення монітора, фокусування, контрастність. Не слід робити зображення надто яскравим, щоб не втомлювати очей.

### 6.1.2 Експлуатація

Досліджуване приміщення, електрифіковано згідно з усіма відповідними нормами. Зокрема, в приміщенні використовується чотири провідна трифазна електромережа з заземленим нульовим проводом. Величина напруги цієї мережі становить 380 х 220В (фазна напруга (фаза – «0») – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В).

Категорія умов з небезпеки електротравматизму – без підвищеної небезпеки.

Для запобігання електротравмам у приміщенні здійснюються:

1) технічні рішення із запобігання електротравм від контакту з нормально струмоведучими елементами електроустаткування – ізоляція нормально струмоведучих елементів електроустаткування відповідно з вимогами нормативів;

2) технічні рішення щодо запобігання електротравмам при переході напруги на нормально неструмовідні елементи електроустаткування – захисне заземлення із використанням природних заземлювачів.

Для нейтралізації зарядів статичної електрики в приміщенні, де виконується робота на комп'ютерах, в тому числі на лазерних та світлодіодних принтерах, рекомендується збільшувати вологість повітря за допомогою кімнатних зволожувачів.

## 6.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

### 6.2.1 Мікроклімат

До параметрів мікроклімату, що нормуються відносяться температура ( $t^{\circ}\text{C}$ ) і відносна вологість повітря ( $W$ , %), швидкість його переміщення (м/с), потужність теплових випромінювань ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ). Нормується мікроклімат на робочому місці дослідника згідно ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».

Допустимі параметри мікроклімату для категорії 1а наведені в таблиця

Таблиця 6.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	$t,^{\circ}\text{C}$	$W$ , %	$V$ , м/с
Теплий	23-25	55	0,1-0,2
Холодний	22-24	75	0,1

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату в приміщенні передбачено:

1. У холодний період року для обігріву будівлі використовується власна незалежна парова система опалення, що позитивно відображається на самопочутті працівників, так як є можливість керувати обігрівом приміщень.

2. Забезпечення метеорологічних умов праці в приміщенні здійснюється за допомогою системи припливно-витяжної вентиляції та регулярного провітрювання.

### 6.2.2 Склад повітря робочої зони

В приміщенні, де здійснюється дослідження засобів критеріального

моделювання для задач оптимального керування, можливими забруднювачами повітря може бути офісна техніка та пил, який потрапляє ззовні. ГДК шкідливих речовин, які знаходяться в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 6.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м <sup>3</sup>		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Параметри іонного складу повітря на робочому місці, що обладнане ПК, повинні відповідати допустимим нормам (таблиця 4.3).

Таблиця 6.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

Рівні	Кількість іонів в 1 см <sup>3</sup>	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально необхідні	50000	50000

Забезпечення складу повітря робочої зони здійснюється за допомогою системи припливно-витяжної вентиляції, регулярного провітрювання, та вологого прибирання.

### 6.2.3 Виробниче освітлення

В офісах, як правило, застосовується бічне природне освітлення. Робочі кімнати і кабінети повинні мати природне освітлення. В інших приміщеннях допускається штучне освітлення. Добре, якщо вікна, що забезпечують природне освітлення, мають північну орієнтацію. Якщо ні, необхідно вжити заходів, завдяки яким інтенсивний сонячне світло з південних або західних вікон не заважав би роботі. Так, наприклад, віконні прорізи можна обладнати жалюзі, завісами, зовнішніми козирками.

Раціональне освітлення - один з основних факторів створення сприятливих робочих умов праці. Недостатнє освітлення викликає передчасне стомлення працюючих, знижує продуктивність праці, може стати причиною нещасного випадку.

Для забезпечення найбільш сприятливих умов зорової праці нормують мінімальну світленість на найбільш темній ділянці робочої поверхні.

Отже, освітленість повинна складати не менше 50 лк. Оскільки в приміщенні знаходяться вимірювальні прилади та система управління, то освітленість повинна складати 300 лк. Рівень аварійного освітлення складає 15% освітленості основної роботи.

Таблиця 6.4 Норми освітленості в приміщенні

истика зорової роботи	розмір об'єкта розрізнув	зорової роботи	розрізнен	ня з	истика фона	Освітленість, лк	КПО, $e_n$ , %
-----------------------	--------------------------	----------------	-----------	------	-------------	------------------	----------------

						Штучне освітлення		Природне освітлення	Сумісне освітлення
						Комбіноване	Загальне	Бокове	Бокове
Дуже високої точності	Від 0,15 до 0,3	II	г	великий	світлий	1000	300	1,3	0,9

Для забезпечення достатнього освітлення передбачені такі заходи:

1) Максимально можливе бічне природне освітлення (2 вікна розмірами 2,3x1,5 м.).

2) Штучне загальне освітлення здійснюється за допомогою люмінесцентних ламп. Світильники систематично очищуються від пилу, несправні лампи замінюються.

3) У разі недостатнього освітлення на робочому місці використовуються настільні світильники.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2006, нормоване значення коефіцієнта природнього освітлення визначаємо за формулою:

$$e_n = e_n \cdot m_n ; \quad (6.1)$$

де  $e_n$  – значення КЕО для будинків;

$m_n$  – коефіцієнт сонячності клімату – 0,85, вікна зорієнтовані на захід.

Природне:  $e_n = 1,5 \cdot 0,85 = 1,3\%$  ;

Суміщене:  $e_n = 0,9 \cdot 0,85 = 0,9\%$  .

#### 4.2.4 Виробничий шум

В приміщенні знаходиться 4 робочих місця, обладнаних ПК, кожне з яких устатковане монітором, вінчестером в системному блоці, трьома вентиляторами системи охолодження ПК та клавіатурою. Крім того поряд працює периферійна техніка. Таким чином у приміщенні мають місце шуми механічного і аеродинамічного походження, широкосмугові із аперіодичним підсиленням при роботі принтерів.

Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку відображені в ДСН 3.3.6.037-99 [15]. Для умов виконання роботи (характер робіт і характер шуму) допустимі рівні звукового тиску повинні відповідати ГС, а рівні звуку  $L_a$  не повинні перевищувати 50 дБА - дивись таблицю 4.5.

Таблиця 4.5 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного широкополосного шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньгеометричними частинами (Гц)								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Виробничі приміщення	86	71	61	54	49	45	42	40	38



Для забезпечення допустимих параметрів шуму (поліпшення шумового клімату) в приміщенні доцільно використовувати комп'ютери з пасивним охолодженням.

## .2.5 Виробничі випромінювання

Оскільки дослідження засобів критеріального моделювання для задач оптимального керування проводилася із використанням ПК, то на робочому місці дослідника можливий підвищений рівень електромагнітного випромінювання.

Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань від монітору комп'ютера представлені в таблиця 4.6.

Таблиця 6.6 – Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань

Найменування параметра	Допустимі значення
Напруженість електричної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні відеомонітору	10 В/м
Напруженість магнітної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні відеомонітору	0,3 А/м
Напруженість електростатичного поля не повинна перевищувати:	для дорослих користувачів 20кВ/м для дітей 15кВ/м

Нормованим параметром невикористаного рентгенівського випромінювання виступає потужність експозиційної дози. На відстані 5 см від поверхні екрану монітору її рівень не повинен перевищувати 100 мкР/год. Максимальний рівень рентгенівського випромінювання на робочому місці оператора комп'ютера зазвичай не перевищує 20 мкР/год.

Рентгенівське випромінювання від рідкокристалічних моніторів комп'ютерів не становить небезпеки для користувача, оскільки інтенсивність такого випромінювання значно нижча від гранично допустимого рівня. Рівень електромагнітного випромінювання дорівнює  $0,7 \text{ Вт/м}^2$ , який передбачає можливий 12-ти годинний час перебування у зоні випромінювання. Рівень напруженості електростатичного поля становить 12 кВ/м, тобто знаходиться в межах норми [16].

Таким чином, умови праці під час здійснення дослідження засобів критеріального моделювання для задач оптимального керування в цілому відповідають існуючим санітарно-гігієнічним нормам. Але у зв'язку з тим, що більшу частину часу дослідник займає сидячу позу і мало рухається, то доцільно виконувати п'ятихвилинну виробничу гімнастику, яку необхідно проводити після кожних 60 хвилин сидячої роботи, і яка буде спрямована на покращення фізичного стану працівника.

### 6.3. Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори вибираються відповідно з Гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу, затвердженої Наказом Міністерства охорони здоров'я №528 від 27 грудня 2001 року.

Умов праці за показниками важкості праці:

При регіональному навантаженні (з переважною участю м'язів рук та плечового суглоба) для чоловіків клас умов праці допустимий (середньої важкості) до 45 Вт.

Маса вантажу, що постійно підіймається та переміщується вручну для чоловіків складає до 15 кг, що є оптимальною умовою праці.

Статичне навантаження, величина статичного навантаження за зміну при утриманні вантажу, докладанні зусиль складає 36000 кг/с для чоловіків що є оптимальним.

Робоча поза є оптимальна: вільна зручна поза, можливість зміни пози («сидячи – стоячи») за бажанням працівника; перебування в позі «стоячи» до 40% часу зміни.

Переміщення у просторі (переходи, обумовлені технологічним процесом, протягом зміни) складає до 4 км по горизонталі та до 2 км по вертикалі.

Умов праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження: рішення простих альтернативних завдань згідно з інструкцією. Сприймання сигналів з наступною корекцією дій та операцій. Характер виконуваної роботи є за індивідуальним планом.

Також на працівника впливають сенсорні навантаження, такі як :

- Тривалість зосередження уваги (в % від часу зміни) до 50%.
- Навантаження на слуховий аналізатор (при виробничій необхідності сприйняття мови чи диференційованих сигналів). Розбірливість слів та сигналів від 100% до 90%.

Всі ці фактори є оптимальними (напруженість праці легкого ступеня).

Монотонність навантажень. Монотонність виробничої обстановки, час пасивного спостереження за технологічним процесом в % від часу зміни складає < 75% що є оптимальним.

5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи системи енергопостачання ТОВ «Грош-1» в умовах дії загрозливих чинників НС

Забезпечення стійкості роботи системи енергопостачання в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій базується на комплексі організаційних, інженерно-технічних заходів і засобів, спрямованих на збереження працездатності в умовах дії загрозливих чинників. Для цього необхідно: прогнозувати та оцінити можливі наслідки, заздалегідь спланувати заходи із запобігання та зменшення вірогідності виникнення НС і скорочення масштабів прояву результатів НС, організація робіт в умовах НС та ліквідація її наслідків.

Ефективність роботи підприємства залежить від його здатності стійко працювати не тільки у звичайних умовах, а і в умовах НС.

Одним з загрозливих чинників для стійкості роботи системи енергопостачання є електромагнітний імпульс (ЕМІ). Вражаюча дія ЕМІ в приземній області і на землі пов'язана з акумулюванням його енергії довгими металевими предметами, рамними і каркасними конструкціями, антенами, лініями електропередачі та зв'язку. В них виникають сильні наведені струми, які руйнують підключене електронне та інше чутливе устаткування. У районі дії ЕМІ безпосередній контакт людини зі струмопровідними предметами також є небезпечним.

При великих дозах випромінювання втрачають працездатність комплектуючі елементи системи електропостачання. В результаті опромінення у конденсаторах знижуються напруги та опір стікання, змінюється провідність і внутрішній нагрів, руйнується електрична ізоляція провідників з полімерних матеріалів.

В органічних ізоляційних і діелектричних матеріалах змінюються такі параметри, як електрична провідність, діелектрична проникність і тангенс кута втрат.

Тому необхідно дослідити вплив загрозливих чинників на стійкість роботи системи енергопостачання та розробити заходи, які сприятимуть її підвищенню.

## 6.4 Цивільний захист

6.4.1 Дослідження стійкості роботи системи енергопостачання в умовах дії іонізуючих випромінювань

За критерій безпеки роботи технологічного обладнання в умовах дії іонізуючих випромінювань приймається таке граничне значення експозиційної дози, при якому можуть виникнути тимчасові зміни, але електроприлади будуть працювати.

Визначимо елементи, від яких залежить функціонування системи енергопостачання, а також граничні значення експозиційних доз, при яких в елементах можуть виникнути зворотні зміни, але вони ще будуть працювати. Дані занесемо в таблицю 6.7.

Таблиця 6.7 – Елементи системи енергопостачання

№	Система	Блоки елементів системи	Елементи	Доза гама- випромін- ювання $D_i$ .гр, Р	Д гр.і., Р	Д гр.с. Р
1	Автоматизо- вана лінія	Блок живлення	Діоди	$10^3$	$10^5$	$10^3$
			Конденсатори	$10^9$		
			Транзистори	$10^4$		
		Блок управління	Транзистори	$10^5$	$10^5$	
			Мікросхеми	$10^4$		
			Мікроконтролер	$10^5$		
Виконавчий блок	Мікросхеми	$10^4$	$10^4$			
	Мікроконтролер	$10^5$				
2	Центральна	Блок	Інтегральні	$10^3$	$10^4$	

	система управління	живлення	схеми		10 <sup>7</sup>
			Мікропроцесор	10 <sup>5</sup>	
		Блок управління	Інтегральні схеми	10 <sup>4</sup>	
			Конденсатори	10 <sup>9</sup>	
			Резистори	10 <sup>9</sup>	
3	Система збору даних	Блок живлення	Діоди	10 <sup>3</sup>	10 <sup>5</sup>
			Резистори	10 <sup>9</sup>	
		Блок управління	Діоди	10 <sup>6</sup>	10 <sup>4</sup>
			Мікросхеми	10 <sup>3</sup>	

Проаналізувавши дані таблиці 6.7, визначили, що самим уразливим елементом блоків є система збору даних з мінімальною дозою  $D_{гр.с}=10^4$  Р.

Визначаємо можливу експозиційну дозу опромінення за формулою:

$$D_m = \frac{2 \cdot P_1 \cdot (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}{K_{осл}}, \quad (6.2)$$

Де  $P_1$  – максимальне значення рівня радіації (4,14 Р/год);

$t_k$  – час кінця опромінення ( $t_k = 40000$  год);

$t_n$  – час початку опромінення ( $t_n = 1$  год);

$K_{осл}$  – коефіцієнт послаблення радіації ( $K_{осл} = 1$  год).

$$D_m = \frac{2 \cdot 4,14 \cdot (\sqrt{40000} - \sqrt{1})}{1} = 1647,72 \text{ Р},$$

Оскільки  $D_{гр.і} > D_m$ , то дана система стійка до дії радіації. Визначимо допустимий час роботи системи в заданих умовах за формулою:

$$t_d = \left( \frac{D_{гр} \cdot K_{осл} + 2 \cdot P_1 \cdot \sqrt{t_n}}{2 \cdot P_1} \right)^2, \quad (6.3)$$

$$t_d = \left( \frac{10^4 \cdot 1 + 2 \cdot 4,14 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 4,14} \right)^2 = 14,6 \cdot 10^5 \text{ (год)}.$$

Отже, можлива доза опромінення системи  $D_m = 1647,72 \text{ Р}$ , а допустима –  $10^4 \text{ Р}$ , тому система буде стійкою в умовах дії іонізуючого випромінювання. Допустимий час роботи системи в заданих умовах становить  $14,6 \cdot 10^5 \text{ год}$ , при рівні радіації  $P_1 = 4,14 \text{ Р/год}$ .

6.4.2 Дослідження стійкості роботи системи енергопостачання ТОВ «Грош-1» в умовах дії електромагнітного імпульсу

6.4.2 Дослідження стійкості роботи системи енергопостачання ТОВ «Грош-1» в умовах дії електромагнітного імпульсу

Початковими да

ними є:

- 1) Вертикальна складова напруженості електричного поля:  $E_v = 10,93 \text{ кВ/м}$ .
- 2) Напряга живлення  $U_{ж1} = 12 \text{ В}$ ,  $U_{ж2} = 48 \text{ В}$ ,  $U_{ж3} = 220 \text{ В}$ .

Визначимо горизонтальну складову напруженості електричного поля

$$E_r = E_b \cdot 10^{-3} = 10,93 \cdot 10^{-3} = 0,01093 \text{ (кВ/м)}. \quad (6.4)$$

Визначаємо напруги наведення в вертикальних та горизонтальних струмопровідних частинах

$$U_b = E_r \cdot l_b = 10,93 \cdot 10^{-3} \cdot 0,91 = 0,009 \text{ (кВ)}. \quad (6.5)$$

$$U_r = E_b \cdot l_r = 10,93 \cdot 1,1 = 12,023 \text{ кВ}. \quad (6.6)$$

Визначаємо допустиму напругу живлення при  $U_{ж1} = 12 \text{ (В)}$

$$U_{\text{доп}} = U_{\text{ж}} + \frac{U_{\text{ж}}}{100} \cdot N, \quad (6.7)$$

$$U_{\text{доп}} = 12 + \frac{12}{100} \cdot 5 = 12,6 \text{ В}.$$

Визначимо коефіцієнт безпеки

$$K_{б.г} = 20 \cdot \lg \frac{U_{\text{доп}}}{U_r}, \quad (6.8)$$

$$K_{б.г} = 20 \cdot \lg \frac{0,0126}{12,023} = - 60,42 \text{ дБ},$$

$$K_{б.в} = 20 \cdot \lg \frac{U_{\text{доп}}}{U_b}, \quad (6.9)$$

Вертикальна складова напруженості електричного поля:



Аналогічно проводимо розрахунок для напруг живлення  $U_{ж2} = 48 \text{ В}$ ,  $U_{ж3} = 220 \text{ В}$  і заносимо дані в таблицю 6.8.

Таблиця 6.8 – Коефіцієнти безпеки системи енергопостачання при різних значеннях напруги живлення

$U_{ж}, \text{ В}$	$U_{в}, \text{ В}$	$U_{г}, \text{ кВ}$	$U_{доп}, \text{ В}$	$K_{бв}, \text{ дБ}$	$K_{бг}, \text{ дБ}$	Результат дії
12	9	12,023	12,6	2,92	-60,01	Нестійка
48	9	12,023	50,4	14,96	-47,55	Нестійка
220	9	12,023	231	28,18	-34,32	Нестійка

Отже, система енергопостачання ТОВ «Грош-1» буде нестійка в роботі, тому що  $K_{бв}$  і  $K_{бг}$  менше 40 дБ. Заходом по підвищенню стійкості системи є екранування апаратури сталевим, свинцевим або алюмінієвим екраном.

#### 6.4.3 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи системи енергопостачання ТОВ «Грош-1» в умовах надзвичайних ситуацій

Проведемо розрахунок екрану для підвищення стійкості апаратури від дії електромагнітного імпульсу.

Перехідне гасіння енергії електричного поля екраном для сталі:

$$A = 40 + K_{обв}, \quad (6.10)$$

Для напруги живлення 12 В

$$A = 40 + 2,92 = 42,92 \text{ дБ.}$$

Для напруги живлення 48 В

$$A = 40 + 14,96 = 54,96 \text{ дБ.}$$

Для напруги живлення 220 В

$$A = 40 + 28,18 = 68,18 \text{ дБ.}$$

Розрахуємо товщину захисних екранів. Для цього виберемо найслабкішу апаратуру до дії ЕМП – апаратура з напругою живлення 220 В.

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{V}}, \quad (6.11)$$

де  $f$  – найбільш характерна частота ( $f = 15$  кГц).

$$t = \frac{68,18}{5,2 \cdot \sqrt{5000}} = 0,107 \text{ см.}$$

Отже, при екрануванні всіх елементів системи енергопостачання з використанням екрану товщиною 0,107 см електропристрої будуть стійкими до дії електромагнітного імпульсу.

Підвищення стійкості роботи системи енергопостачання можна досягти шляхом посилення найбільш слабких елементів і ділянок системи, а також завчасним проведенням комплексу інженерно-технічних, технологічних та організаційних заходів, які спрямовані на максимальне зниження дії вражаючих факторів.

Висновки до розділу ОП:

Також в даному розділі було проведено дослідження безпеки роботи системи енергопостачання ТОВ «Грош-1» до дії іонізуючих випромінювань та електромагнітного імпульсу.

В умовах дії іонізуючого випромінювання пристрій буде працювати стійко, так як граничне значення експозиційної дози випромінювання  $D_{гр} = 10^4$  Р, що значно більше, ніж можливе значення максимальної дози опромінення системи  $D_m = 1647,72$  Р. Отже, підвищувати стійкість роботи системи енергопостачання до впливу іонізуючого випромінювання непотрібно.

Вплив електромагнітного імпульсу на електропристрої призводить до порушення стійкості роботи системи енергопостачання. Застосування екранування підвищило стійкість роботи системи в умовах дії електромагнітного імпульсу.

## ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі проведено дослідження базоване на отриманих даних з підприємства. Проаналізовано роботу та основні технологічні процеси.

В результаті проведення енергетичного аудиту було прийняте рішення про доцільність використання інфрачервоних обігрівачів, що дозволило б заощадити кошти на опалювання робочих мість штатного персоналу.

Проведено дослідження системи гарячого водопостачання з регенерацією тепла трансформатора. Запропонована методика дослідження сумарних приведених затрат на дану систему, та реалізована програмою для ЕОМ.

Розглянуто два варіанти використання скидного тепла, без ТНУ, з нагріванням води в електронагрівнику, та з використанням ТНУ для нагріванням води та догрівом її в електронагрівнику. Дослідження виконане програмно і підтвердило, що затрати на варіант з ТНУ менші затрат на варіант без ТНУ.

Зміна приведених затрат при зміні температур нагрітої в ТНУ води однаковий при питомих вартостях електроенергії в інтервалі 0.5-6 грн/кВт•год.

Найменші затрати при найменшому нагріву води в ТНУ та найбільшому догріву в електронагрівачу. Зі збільшенням нагріву в ТНУ її ефективність (COP) сильно знижується і витрати електроенергії приводу компресора збільшуються відносно затрат на привод компресора ТНУ з постійною ефективністю.

Проведено аналогічний дослід для холодильної установки з використанням скидного тепла в варіантах як зі встановленням ТНУ та електронагрівником так і без. В результаті розрахунку отримані результати які задовольняють всі критерії та умови доцільності даного проекту. Можна зробити висновок що проект може бути рекомендований до впровадження в реальну експлуатацію.

В економічній частині було здійснено розрахунок собівартості електроенергії на підприємстві, проаналізовано вихідні дані та розраховано розмір капіталовкладень в систему електропостачання.

## Список літератури

1. Закон України Про охорону праці , №235-IV.
2. Довідкова книга для проектування електричного освітлення / Г.М.Кноррінга. - Л.: Енергія, 1976. - 346 с.
3. «Использование тепла силовых масляных трансформаторов для теплоснабжения электрических подстанций. часть 1»./ В. Г. Беседин, В. З. Манусов Сборник научных трудов НГТУ, № 4.,с. 1–6.2005.
4. Боротьба з шумом на виробництві: Довідник / Е.Я.Юді-на. - М .: Машинобудування, 1985. - 430 с.
5. ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ. Робоче місце при виконанні робіт сидячи. Загальні ергономічні вимоги.
6. ГОСТ 12.2.033-84. ССБТ. Робоче місце при виконанні робіт стоячи. Загальні ергономічні вимоги.
7. Державний реєстр міжгалузевих нормативних актів про охорону праці. - К.: Держнагляд охорони праці, 1986. - 645 с.
8. Правила улаштування електроустановок.- 1986. - 342 с.
9. ГОСТ 12.1.030-80. ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление. Изменения,1987.
- 10.ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
- 11.СНиП II-4-79/85. Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования.
- 12.ГОСТ 12.1.012-90. ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.
- 13.ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие треб.
- 14.Справочник по проектированию электроснабжения / Под редакцией Ю.Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 576 с.
15. Грязнов Н.Д., Теплообменные устройства газотурбинных и комбинированных установок / Грязнов Н.Д. –1985.– 364 с.

16. Справочник по экономии топливно- энергетических ресурсов / В.А. Гольстрем, Ю.Л.Кузнецов, –К.: Техника, 1985. – 386 с. Библиогр.: с. 385–388.
17. Горяев А. Б. Энергозбереження в енергетиці та технологіях / А. Б.Горяев, О. Л.Данилов. – М.: Видавництво МЭИ, 2002. – 178 с.
18. В. Г. Беседин, В. З. Манусов «Использование тепла силовых масляных трансформаторов для теплоснабжения электрических подстанций. Часть 2. Варианты подключения устройств отбора тепла к системе водяного отопления», № 1., с. 111–116.2006.
29. EickenhorstH., SiefenH. TransformatorenheizeninBuerogebaeude // ETA:Elektrowaermetech. Ausbau, 1989. № 4. S 140-145.
20. Строительная климатология и геофизика. СНиП 2.01.01 – с. 82.
21. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: Справочник. – Кн. 4 /Под общ. ред. В.А. Григорьева, В.М. Зорина. –1991г.
22. Роддатис К.Ф., Полтарецкий А.Н. Справочник по котельным установкам малой производительности. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
23. Свердлов Г.З., Явнель Б.К. Курсовое и дипломное проектирование холодильных установок и систем кондиционирования воздуха. – М.: Пищевая промышленность, 1978. – 264 с.
24. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. СНиП – с.88.
25. Явнель Б.К. Курсовое и дипломное проектирование холодильных установок и систем кондиционирования воздуха. – М.: Агропромиздат, 1989. – 223 с.
26. Вильнер Я.М., Ковалёв Я.Т., Некрасов Б.Б. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам. Под ред. Б.Б. Некрасова. Минск, «Высшая школа», 1976.
27. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные производственные факторы. Классификация. - [Электронный ресурс] - Режим доступа: [http://www.znaytovar.ru/gost/2/GOST\\_1200140374\\_SSBT\\_Opasnye.html](http://www.znaytovar.ru/gost/2/GOST_1200140374_SSBT_Opasnye.html)
28. ДНАОП 0.00.1.31–99 Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин - [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.budinfo.org.ua/doc/1811550/DNAOP-0-00-1-31-99->
29. ДСанПіН 5.5.6.009-98 Влаштування і обладнання кабінетів комп'ютерної

техніки [Електронний ресурс] - Режим доступу:  
<http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=2569>

30. Правила улаштування електроустановок - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>

31 ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.[Електроресурс]Режимдоступу:<http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=>

32.Гігієнічна класифікація праці (за показниками шкідливості і небезпеки факторів виробничого середовища від 12.08.1986 № 4137-86.:  
<http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/v4137400-86>

33. ДБН В.2.5-28-2006 Природне і штучне освітлення - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/prirodne-i-shtuchne-osvitlennja-nor8425.html>

34. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>

35. ГОСТ 12.1.004-91 Пожарнаябезопасность. Общинтребования- [Електронний ресурс] - Режим доступу:  
[http://www.rosteplo.ru/Npb\\_files/npb\\_shablon.php?id=843](http://www.rosteplo.ru/Npb_files/npb_shablon.php?id=843)

36. НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» від 03.12.2007 року № 833

37. ДБН В.1.1.7-2002 Пожежна безпека об'єктів будівництва - [Електронний ресурс] - Режим доступу: [http://www.poliplast.ua/doc/dbn\\_v.1.1-7-2002..pdf](http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002..pdf)

38. ДБН В.2.5-56:2010 Системи протипожежного захисту - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://minregion.gov.ua /attachments/ bydivnitstvo/tehnichne-regulyuvannya/normuvannja/ DBN/2014.pdf>

39. Камишинський О. М., Овчинников В. Є.;"ЕЛЕКТРИЧНІ СТАНЦІЇ І ПІДСТАНЦІЇ ЗАЛІЗНИЦІ" ; Одеса 2008 – 304 ст.

40. Лежнюк П.Д., Кулик В.В., Кравцов К.І. Визначення та аналіз втрат електроенергії в розподільних мережах Навчальний посібник, ВНТУ 2007 – 170 ст.;



41. Інфрачервоні обігрівачі [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.desa.net.ua/infrachervoni-obigrivachi.html>

42. Методика розрахунків плати за перетоки реактивної електроенергії між енергопостачальною організацією та її споживачами [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=z0619-97>

43. Справочник по проектированию электроснабжения ; под ред. Ю. Г. Барыбина и др. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.

44. Програма курсу: блок ”Енергозбереження в промисловості” [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.is.svitonline.com/sukhodolya/students/galyz1.htm>

45. Енергоаудит у житлово-комунальному господарстві / [Лебедєв М. М., Розен В. П., Соловей О. І., Третьяков І. М. та ін.] ; Під заг. ред. І. М. Третьякова. – К. : Автограф, 2006. – 60 с.

46. Енергетичний аудит : Курсове проектування / [Бабенко О.В.]. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 69 с.

47. Енергетичний аудит : Навчальний посібник / [Соловей О. І., Розен В. П., Лега Ю. Г. та ін.]. – Черкаси : ЧДТУ, 2005. – 299 с.

48. Степанов Д.В. Котельні установки промислових підприємств: навчальний посібник. - Вінниця: ВНТУ, 2010 – 117 с.

49. Андрюхин И.М., Огороков О.М. Методы технико-экономического анализа

50. М.М.Попов. Економічні фактори енергосистеми України

51. XLVII Науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки (2018) - Секція електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту. Оптимізація способу прокладання провідників в цехових мережах. [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/allvntu/all-feeem->

2018/search/authors/view?firstName=%D0%9E%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D1%80&middleName=%D0%A1%D0%B5%D1%80%D0%B3%D1%96%D0%B9%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87&lastName=%D0%9C%D0%B0%D1%82%D0%B0%D1%82&affiliation=%D0%92%D0%9D%D0%A2%D0%A3&country=UA

52. XLVIII Науково-технічна конференція факультету електроенергетики та електромеханіки (2019) - Секція електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту. Вплив теперішнього законодавства України на підвищення енергоефективності об'єктів. [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem->

2019/search/authors/view?firstName=%D0%9E%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D1%80&middleName=%D0%A1%D0%B5%D1%80%D0%B3%D1%96%D0%B9%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87&lastName=%D0%9C%D0%B0%D1%82%D0%B0%D1%82&affiliation=%3Cp%3E%D0%92%D1%96%D0%BD%D0%BD%D0%B8%D1%86%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9%20%D0%BD%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20

## Додатки

## Додаток А

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

ЗАТВЕРДЖЕНО  
Зав. кафедри ЕСЕЕМ

\_\_\_\_\_ 2019 р.  
“    ” \_\_\_\_\_

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему:

«Підвищення ефективності систем енергопостачання шляхом регенерації  
скидного тепла електричних та теплових машин»

Керівник проекту  
д. т. н., доц. Головченко О.М.

\_\_\_\_\_

Виконавець: ст. гр. ЕМ-18М  
Матат О.С.

\_\_\_\_\_

## 1. ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ МКР

Робота виконується на підставі наказу ВНТУ за № 254 від 02.10.2019 р.

Дата початку роботи \_\_\_\_\_ 2019 р.

Дата закінчення роботи \_\_\_\_\_ 2019 р.

## 2. МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР. ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРОБКИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

Проведення енергетичного аудиту систем енергоспоживання ТОВ НВП“Аргон” гіпермаркет “Грош-1”. Запропонувати найбільш ефективні енергозберігаючі заходи для даного промислового об’єкта.

Вихідні дані для проектування:

- а) Генплан підприємства;
- б) План цеху;
- в) Електричні навантаження підприємства;
- г) Теплові навантаження котельні підприємства;
- д) Відомості про джерела зовнішнього електропостачання.

## 3. ДЖЕРЕЛА РОЗРОБКИ

1. М.Й. Бурбело «Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків» Вінниця: ВНТУ, 2005р.
2. Федоров А.А. «Справочник по электроснабжению промышленных предприятий», М.: 1972г.
3. «Правила устройства электроустановок»М.: Энергоатомиздат, 1985г.
4. Демов О. Д. Економія електроенергії на промислових підприємствах: Навчальний посібник / О. Д. Демов. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 95 с.
5. Бабенко О.В. Енергетичний аудит. Курсове проектування: навчальний посібник. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 63 с

#### 4. ЕТАПИ І ТЕРМІН ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Зміст етапу	Термін виконання	
	початок	кінець
4.1 Збір інформації, яка необхідна для дослідження		
4.2 Проведення дослідних розрахунків		
4.3 Розробка робочих креслень		
4.4 Написання розрахунково-пояснювальної записки і захист магістерської роботи		

#### 5. МАТЕРІАЛИ, ЩО ПОДАЮТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ МКР

Пояснювальна записка МКР, графічні і ілюстровані матеріали, анотація до МКР українською та іноземною мовою.

#### 6. ПОРЯДОК КОНТРОЛЮ ВИКОНАННЯ ТА ЗАХИСТУ МКР

Робота приймається на проміжних контрольних перевірках, попередньому захисті та захисті в ЕК.

#### 7. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

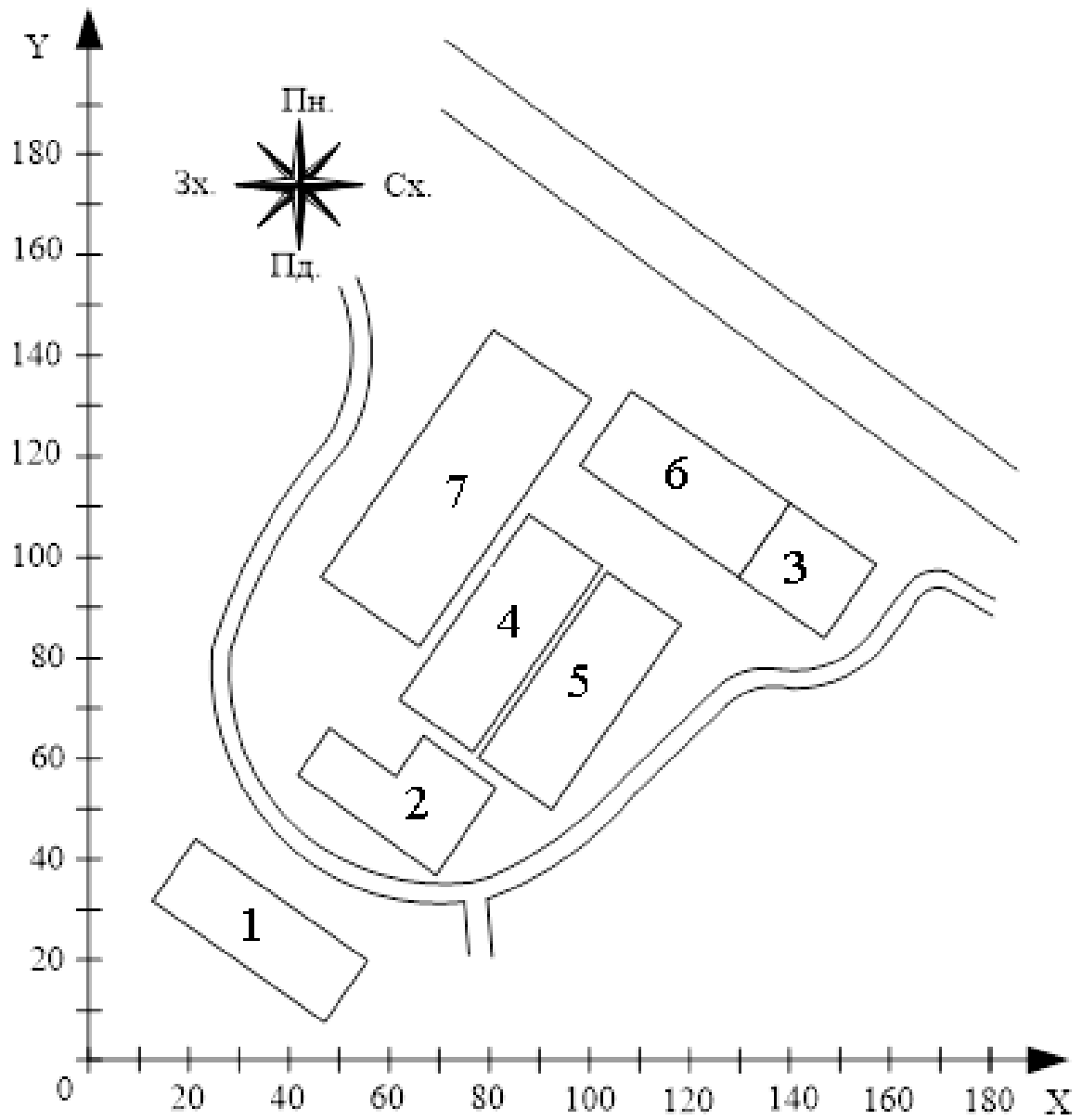
##### 7.1 Дані про патентоспроможність

Не передбачається

##### 8 ОЧІКУВАНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ

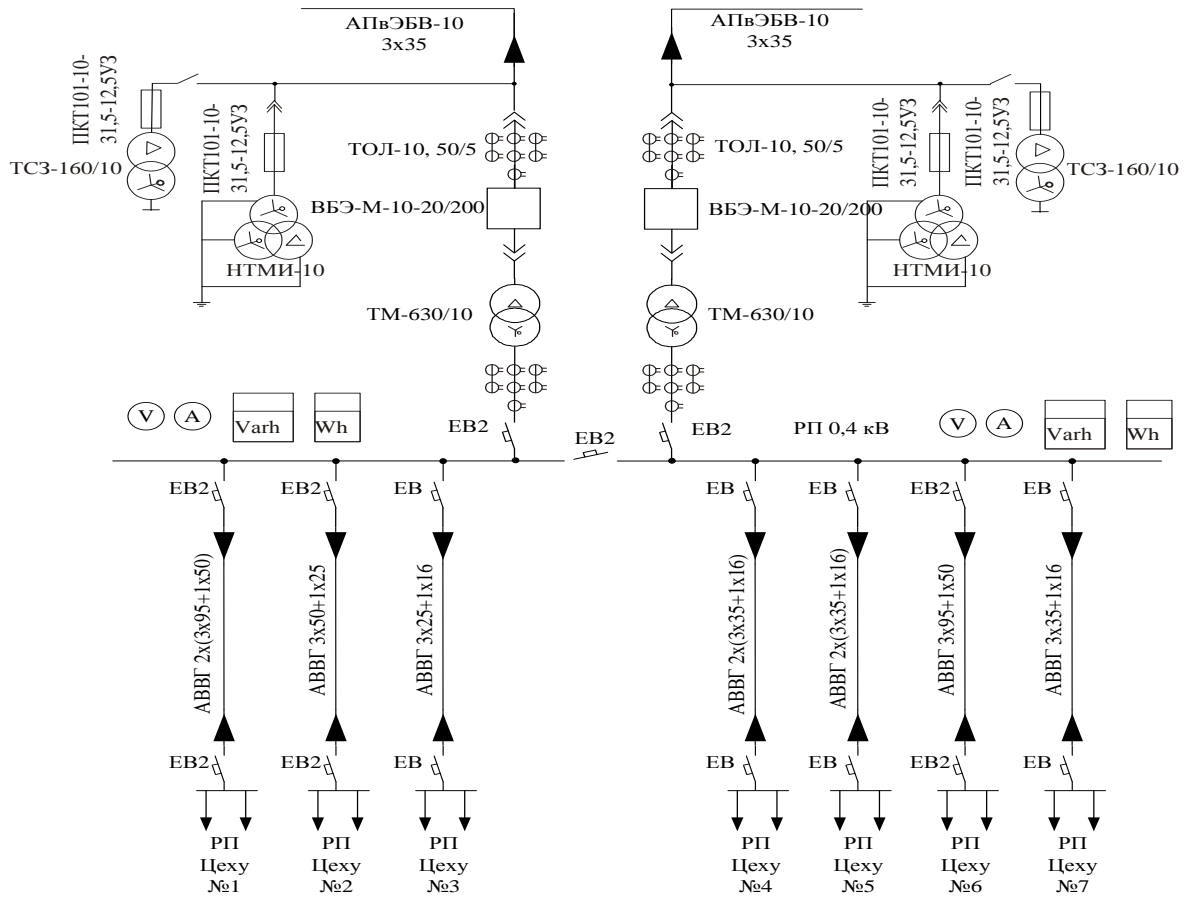
Не передбачається

Додаток Б  
Генплан підприємства



## Додаток В

## Однолінійна схема системи електропостачання підприємства





## Додаток Г

### Презентація

**ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
Факультет електроенергетики та електромеханіки  
Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

магістерської кваліфікаційної роботи

на тему: ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ  
ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ ШЛЯХОМ РЕГЕНЕРАЦІЇ СКИДНОГО ТЕПЛА  
ЕЛЕКТРИЧНИХ ТА ТЕПЛОВИХ МАШИН

Виконала: Матат О.С.  
Керівник: к.т.н., доц., Головченко О.М.

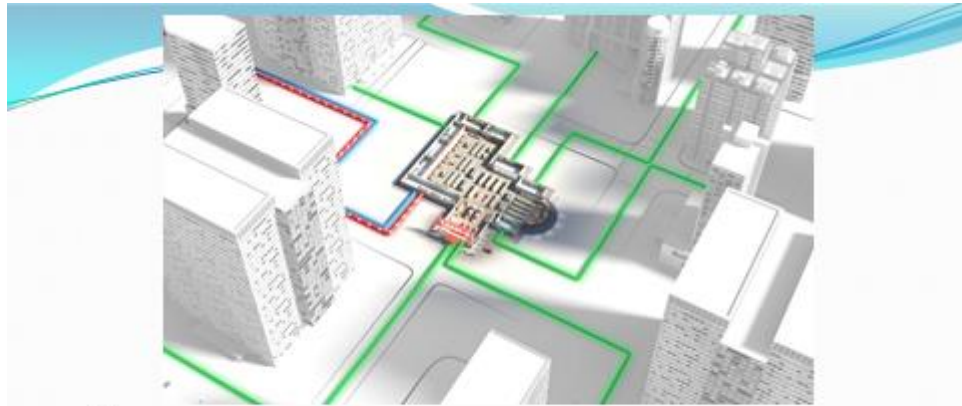
Вінниця – 2018 рік

2

## Актуальність теми

- До складу обладнання супермаркетів входять електричні трансформатори та холодильні установки. Електричні процеси в них супроводжуються їх нагрівом. Охолоджуються трансформатори маслом, теплота від якого відводиться до повітря навколишнього середовища. Доцільною метою є використання цієї скидної теплоти в системі гарячого теплопостачання. Проте температура нагрітого масла близько 40 °С, а температура води гарячого водопостачання близько 60 °С. Тому необхідне додаткове джерело теплоти для догріву теплоносія. В умовах трансформаторних підстанцій такими джерелами можуть бути електронагрівачі, теплові насоси та їх комбінації. Першою задачею цієї роботи є визначення варіантів системи гарячого водопостачання з використанням тепла від трансформаторів з найменшими сумарними приведеними затратами.

## Додаток Г



У країнах Європосюзу супермаркети економлять енергоресурси завдяки рекуперації тепла від холодильного обладнання.

Сьогодні понад 5000 магазинів у світі використовують концепцію, яка дозволяє віддавати тепло у міську теплову мережу та ще і підігрівати водопровідну воду для власних потреб

Найбільшим споживачем електроенергії у супермаркеті є холодильні машини. За даними досліджень, тільки 3% часу роботи компресорів використовуються для охолодження, а решту їхньої роботи можна використовувати для генерації тепла.

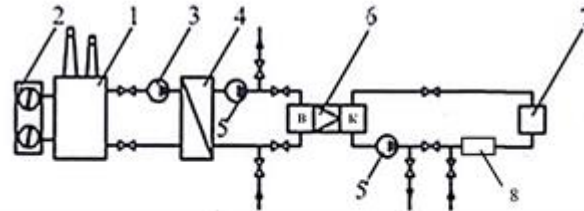
3

4

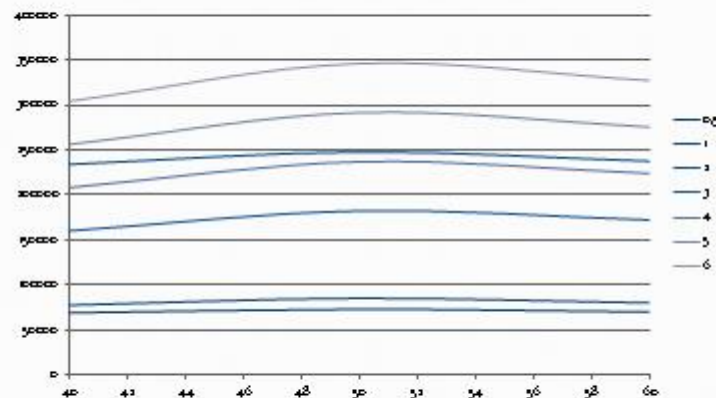
## Енергоаудит

- Запропоновано заміну люмінесцентних ламп на діодні в результаті чого річна економія коштів внаслідок модернізації системи освітлення дорівнює близько 1,9 тис. грн., оскільки термін окупності складає всього 1,2 року модернізацію можна вважати доцільною
- Запропоновано використання інфрачервоних обігрівачів, в результаті розрахунку термін їх окупності всього лише 0,18 року, а економія може досягати 100 тис. грн. щороку

## Додаток Г

СИСТЕМИ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ З РЕГЕНЕРАЦІЄЮ  
СКИДНОГО ТЕПЛА ТРАНСФОРМАТОРА

Розрахункова схема використання скидного тепла трансформатора для гарячого водопостачання (1 – трансформатор; 2 – охолоджувач; 3 – масляний насос; 4 – теплообмінник масло-вода; 5 – водяний насос; 6 – теплонасосна установка (ТНУ); 7 – споживач тепла); 8 – електропідігрівник;



Залежності сумарних приведених затрат на систему гарячого водопостачання від температури води на виході з ТНУ, °С, при різних питомих вартостях електроенергії.

## Додаток Г

